Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

FENÔMENOS RESULTANTES DO RESFRIAMENTO NOTURNO NAS SUPERFÍCIES DE CIMEIRA DA SERRA DA MANTIQUEIRA EM JULHO DE 2021

Phenomena resulting from night cooling at the Summit Levels of Serra da Mantiqueira in july 2021

Fenómenos resultantes del enfriamiento nocturno en un valle en las cumbres de Serra da Mantiqueira en julio 2021

Gabriel Gorga Cardoso
Curso de Bacharelado em Geografia, Universidade Federal de Pelotas - UFPEL
gabrielgorga226@gmail.com

Erika Collischonn
Departamento de Geografia, Universidade Federal de Pelotas - UFPEL
erika.collischonn@gmail.com

Vinícius Henrique Lucyrio de Lima
Curso de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI
vinicius.lucyrio@gmail.com

Resumo: Os climas das áreas de montanha no Brasil tropical são ainda mal conhecidos devido à ausência de observações meteorológicas contínuas. Este é também o caso para as superfícies de cimeira na Serra da Mantiqueira. Com o objetivo de contribuir com este conhecimento, foi feito um esforço pessoal e comunitário em localidade do município mineiro de Delfim Moreira para aquisição e instalação de estações meteorológicas. Neste trabalho apresentam-se alguns resultados marcantes do monitoramento já realizado com relação a variação das temperaturas mínima e máxima do ar diárias, relacionadas também a umidade relativa do ar, no mês de julho de 2021. Comparam-se dois pontos de monitoramento, com estação meteorológica automática Davis, distantes 1,5 km um do outro, em diferentes compartimentos do vale do Ribeirão Vermelho: o primeiro no fundo do vale, a 1711m, o segundo, no alto de uma encosta, a 1850m. Regionalmente, na Serra da Mantiqueira, o vale se encontra numa posição de sotavento em relação aos ventos que trazem umidade no inverno (sul e sudeste). O trabalho aponta a frequência de fortes inversões térmicas locais e também de ocorrência de geadas no fundo do vale no período, relacionadas a ação de fortes anticiclones polares que se associaram ao Anticiclone do Atlântico Sul. Não foi encontrado nenhum estudo que registrasse tal frequência de geadas na Serra da Mantiqueira.

Palavras-chave: Inversão térmica . Geada. Topoclima.

Abstract: The climates of mountainous areas in tropical Brazil are poorly understood due to the absence of continuous meteorological observations. This is also the case for Serra Mantiqueira Summit Levels. In order to contribute to this understanding, we chipped in to buy weather stations and install them at the municipality of Delfim Moreira/MG. This work presents some remarkable results of the monitoring already carried out in relation to the variation of the daily minimum and maximum air temperature in July 2021. Two monitoring points are compared with automatic Davis meteorological stations, 1.5km apart, in different relief compartments of the Ribeirão Vermelho valley: the first at the bottom of the valley, at 1711m, the second, at the top of a slope, at 1850m. Regionally, in Serra da Mantiqueira the valley is in a leeward position in relation to the winds that bring humidity in winter (south and southeast). Locally, the study shows the frequency of strong thermal inversions along the topographic profile and also the occurrence of frosts at the valley floor in the analyzed period, related to the action of strong polar anticyclones associated with the South Atlantic Anticyclone. No study has recorded such a frequency of frosts in the Serra da Mantiqueira.

Keywords: Thermal inversion. Frost. Topoclimate.

Resumen: Los climas de las zonas montañosas del Brasil tropical son todavía poco conocidos debido a la ausencia de observaciones meteorológicas continuas. Este es también el caso de las superficies de las cumbres en la Serra da Mantiqueira. Para contribuir a este conocimiento, se realizó un esfuerzo personal y comunitario en una localidad del municipio minero de Delfim Moreira para adquirir e instalar estaciones meteorológicas. Este trabajo presenta algunos resultados llamativos del monitoreo ya realizado con respecto a la variación de las temperaturas mínimas y máximas diarias del aire, también relacionadas con la humedad relativa, en el mes de julio de 2021. Se comparan dos puntos de monitorización, con una estación meteorológica automática Davis, a 1,5 km de distancia el uno del otro, en diferentes compartimentos del valle de Ribeirão Vermelho: el primero en el fondo del valle, a 1711m, el segundo, en la cima de una colina, a 1850m. Regionalmente, en la sierra de Mantiqueira, el valle se encuentra en una posición de sotavento con respecto a los vientos que traen la humedad en el invierno (sur y sureste). El trabajo señala la frecuencia de fuertes inversiones térmicas locales y también la aparición de heladas en el fondo del valle en el período, relacionadas con la acción de fuertes anticiclones polares asociados al Anticiclón del Atlántico Sur. No se ha encontrado ningún estudio que registre tal frecuencia de heladas en la Serra da Mantiqueira.

Palabras clave: Inversión térmica . Frost. Topoclima.

Submetido em: 18/02/2022
Aceito para publicação em: 07/07/2022
Publicado em: 29/07/2022

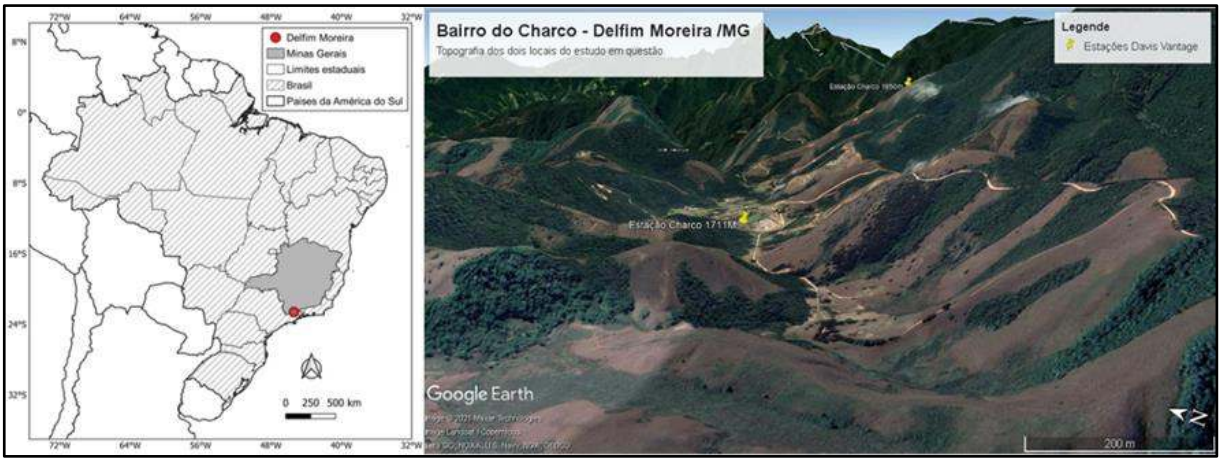
1. INTRODUÇÃO

Os diversos microclimas das áreas de montanhas do Brasil ainda são pouco conhecidos devido à carência de equipamentos que façam as observações meteorológicas em posições topográficas diferenciadas. Os equipamentos existentes, propiciam o entendimento do clima regional, dificilmente o clima local, o topoclima ou o microclima. Nas escalas climáticas de mais detalhe, os estudos que existem são baseados em levantamentos episódicos.

A Serra da Mantiqueira, que possui um grande alinhamento orográfico com orientação principal SSW-NNE, se subdivide em um ramo setentrional posicionado no leste de Minas Gerais, sudoeste do Espírito Santo e pequena parte do Rio de Janeiro, e outro meridional, com área de aproximadamente 13.176 km^2, que ocupa parte dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e, sobretudo, Minas Gerais. Nesta porção meridional os agrupamentos de serras alongadas e planaltos são constituídos por diferentes patamares em altitudes diferenciadas, ou compartimentos morfoestruturais, acarretando em uma variação microclimática muito ampla. Entre os patamares mais altos, chamados patamares de cimeira, está o que Marques Neto (2017) classificou como Serrarias de Virgínia/Delfim Moreira. A posição destas Serrarias, a sua altitude e topografia acidentada fazem com que seja uma área de grande interesse para o estudo do clima de montanha.

Foi por curiosidade científica que se iniciou o registro da temperatura do ar de montanha no município de Delfim Moreira – MG. Com o tempo, os registros foram ganhando mais robustez, e desde 2019 tem-se estações meteorológicas automáticas em diferentes posições do relevo. Neste trabalho, comparam-se dados do monitoramento em dois compartimentos topográficos no vale do Ribeirão Vermelho (Figura 1): o primeiro no bairro Charco, uma área rebaixada a 1711 m, através de estação meteorológica automática a 1,60m do solo e termômetro de relva acoplado; o segundo, com estação meteorológica automática a 2m do solo, porém no alto de uma encosta, a 1850 m.

Figura 1- Localização e características da área de estudo.



Fonte: IBGE, 2020 e Google Earth, 2021 (Organizado pelos autores).

Conforme escreveram Nunes, Vicente, Cândido (2009, p. 16) ‘’Ainda que o clima do Sudeste tenha por traço mais característico a tropicalidade, a altitude é um poderoso controle climático, impondo-se ao fator latitudinal. Em função disso, alguns fenômenos atmosféricos como a geada, tem incidência frequente e podem ser muito intensas.’’

O inverno de 2021 além da costumeira baixa umidade do ar, foi marcado por fortes ondas de frio. Este estudo apresenta resultados, para o mês de julho deste ano, sobre a ocorrência dos fenômenos de inversão térmica local, geada, bem como das Ice Needles (Agulhas de gelo), visualizados in loco na localidade; também caracteriza os sistemas atmosféricos atuantes para os dois dias de temperaturas mais baixas do mês.

Baseado numa série mensal de dados meteorológicos, a análise contribui para o entendimento sobre a variação climática em micro escala nas grandes altitudes do Sudeste Brasileiro. Também se destaca a importância desse conhecimento para diversas atividades humanas que se realizam nesta área montanhosa.

1.1. Referencial teórico

A Serra da Mantiqueira tem sido objeto de estudos climáticos em nível regional e local há muitos anos. Dada sua orientação leste-oeste, com pequena variação latitudinal, ela se adequa para avaliar a influência de efeitos estritamente topográficos como: altitude, orientação de encosta, posição e tipos de cobertura do solo.

Na escala local já foram realizados estudos de gradiente térmico do ar próximo à superfície, ao longo de perfil topográfico: o perfil do Pico das Agulhas Negras (1800-2800m) no Parque Nacional do Itatiaia por Galvani et al. (2005) com um gradiente vertical de temperatura de -0,58°C/100m; o perfil no Pico da Bandeira (1100-2880 m) no Parque Nacional do Alto Caparaó por de Lima, Galvani e Falcão (2010), cujo gradiente atmosférico médio em abril e maio foi de 0,4 °C/100 m, contudo, as temperaturas mínimas não ocorreram no ponto de maior altitude, mas num ponto intermediário que favorecia o acúmulo de ar frio a noite, ou seja, indicaram inversão térmica.

Inversões térmicas próximo a superfície se formam em regra à noite, quando o céu está limpo e o vento calmo, apresentando seu máximo por volta do nascer do sol. Com a volta da incidência da radiação solar sobre a superfície, a mesma se aquece, assim como a atmosfera em contato com ela, fazendo com que desapareça a inversão. Em dias nublados, o efeito estufa causado pelas nuvens reduz significativamente esse resfriamento, e a inversão de superfície não se desenvolve. Da mesma forma, se o vento estiver soprando, ele exerce uma agitação molecular do ar, que homogeneíza essas moléculas, impedindo qualquer estratificação térmica por densidade, evitando a formação da inversão de superfície (GARCIA, 1994).

A topografia reforça esse fenômeno meteorológico, segundo Geiger (1981). Com efeito, o ar frio situado junto ao solo, que é mais denso, flui por gravidade ao longo das encostas e acumula-se no talvegue e noutros pontos baixos (bacias, depressões, vales). Como resultado, o ar quente e menos denso acaba acima de uma lâmina de ar frio. Na camada de inversão impera a calma, ou só um movimento horizontal muito lento de ar, enquanto os movimentos verticais se minimizam. Fala-se, portanto, de uma estratificação estável da atmosfera próximo à superfície, já acima da camada de inversão observa-se com frequência maior velocidade do vento com forte turbulência.

Também relacionada a perda radiativa da superfície terrestre durante à noite e ao acúmulo de ar frio ocorre a geada, resfriamento do ar junto ao solo a valores de temperatura menores do que 0°C, que ocasiona o congelamento da água presente na superfície, ou mesmo, do vapor d'água do ar junto ao solo, que passa diretamente para a fase de gelo (SILVA, REBOITA e ROCHA, 2014, p. 234).

Na escala regional, Sapucci et al.(2018) contabilizaram a ocorrência de geadas em quatro localidades na porção meridional da Mantiqueira, entre 2009 e 2014: Campos do Jordão/SP (22°45’ S, 45°36’ O, altitude de 1642 m), Maria da Fé/MG (22°18’ S, 45°22’ O, altitude de 1276 m), Passa Quatro/MG (22°23’ S, 44°57’ O, altitude de 1040 m) e São Lourenço/MG (22°10’ S, 45°01’ O, altitude de 953,2 m). Segundo esta análise, Campos do Jordão/SP, que se encontra maior altitude foi aquela na qual as geadas foram mais frequentes, e o mês de julho foi aquele no qual, na média dos anos, mais geadas ocorreram. Silva, Reboita e Rocha (2014), também no intuito de compreenderem a dinâmica do clima regional, analisaram a contribuição das frentes frias para o total sazonal de eventos de geada. Consideraram que estes eventos se associam à passagem de uma frente fria quando ocorrem até três dias após a passagem deste sistema. Segundo os autores, frequentemente, após a passagem de uma frente fria sobre o sul de Minas Gerais, a massa de ar frio na sua retaguarda invade a região, produzindo tempo bom (céu claro).

No entanto, com base nas análises da pressão ao nível médio do mar e do vento a 10 metros de altura, os autores chegaram à conclusão que os anticiclones migratórios na retaguarda das frentes frias não são o único fator responsável pela ocorrência de geadas nesta região. O predomínio da ASAS (Alto Subtropical do Atlântico Sul) e de anticiclones polares na costa leste do Brasil, que muitas vezes se associam com a ASAS, são mecanismos fundamentais para que as geadas ocorram. Para Silva, Reboita e Rocha (2014, p. 237) este sistema de alta pressão que, durante o inverno aproxima-se do continente sul-americano, deixa o ar mais seco, propiciando condições de céu claro, o que contribui para aumentar a perda radiativa e o grande resfriamento noturno da superfície. Assim, é frequente a formação de geada nas primeiras horas da manhã. A constatações similares já haviam chegado Monteiro (1969), Nimer (1979), Armani e Galvani (2011), porém destacando o papel do reforço de ar polar que a ASAS recebe neste período do ano.

2. METODOLOGIA

Como escreveu Ribeiro (1993), os estudos dos fenômenos da atmosfera na sua relação com a superfície são orientados no sentido da compreensão de sua extensão (espaço) e de sua duração (tempo). A definição de intensidades e frequências dos fenômenos dependerá da

adequação da abordagem espaço-temporal e do conjunto de técnicas analíticas empregadas no processo da pesquisa e comunicação dos seus resultados.

O fenômeno climático inversão térmica de superfície resulta, segundo de um conjunto de elementos de naturezas diversas e que convivem ao mesmo tempo no mesmo espaço, em regime de trocas energéticas recíprocas e interdependentes. Para Ribeiro (1993) enquadra a abstração racional deste fenômeno na escala topoclimática.

> O topoclima corresponde a uma derivação do clima local devido à rugosidade do terreno, que tem como consequência a energização diferenciada do terreno, durante o período diurno, para as diversas faces de exposição à radiação solar. [..] Durante a noite, a rugosidade do terreno provoca a drenagem do ar frio em direção aos fundos de vale, principalmente na ausência de fluxos adjetivos da circulação de mesoescala, chegando a provocar um padrão de circulação terciária. Durante o inverno, sob condições de estabilidade anticiclônica, no Centro-Sul do Brasil, a ocorrência de geadas e nevoeiros em função da drenagem e acúmulo de ar frio constituem fenômenos de natureza topoclimática (RIBEIRO, 1993, p.5)

A extensão horizontal dos topoclimas restringe-se à forma do relevo, podendo variar entre 0,5 e 5 quilômetros e interferir na estrutura vertical da atmosfera em até 50 a 100 metros de altura, coincidindo com a camada limite Superficial, limite que a energia calorífica gerada na superfície pode atingir pelo processo de condução, e onde a força do atrito supera a força de Coriolis no direcionamento dos ventos de superfície. Os dados necessários para o estudo dos topoclimas devem ser de registros na escala horária, objetivando a elaboração de transectos e perfis geoecológicos. As observações podem ser episódicas, ou seja, não se necessita uma série longa de registros na escala temporal.

O recorte temporal dos dados foi o mês de julho de 2021, porque como comentado anteriormente, nesta época do ano, sobre o sul da Mantiqueira dominam o ASAS e os anticiclones polares a ele associados, ou seja, condição na qual as diferenciações na escala topoclimática tem seu melhor desenvolvimento.

> [...] um tempo anticiclônico com céu claro e ausência de ventos é a situação sinótica mais favorável para que o topoclima se revele; embora tal situação possa permanecer por diversos dias, a resposta na escala topoclimática é frequentemente observada nas situações opostas de radiação diurna e irradiação noturna (RIBEIRO, 1993, p.5).

Então, a partir da compreensão da escala do clima em que a proposta deste estudo se realiza, definem-se na sequência, os materiais e os procedimentos metodológicos.

2.1. Materiais

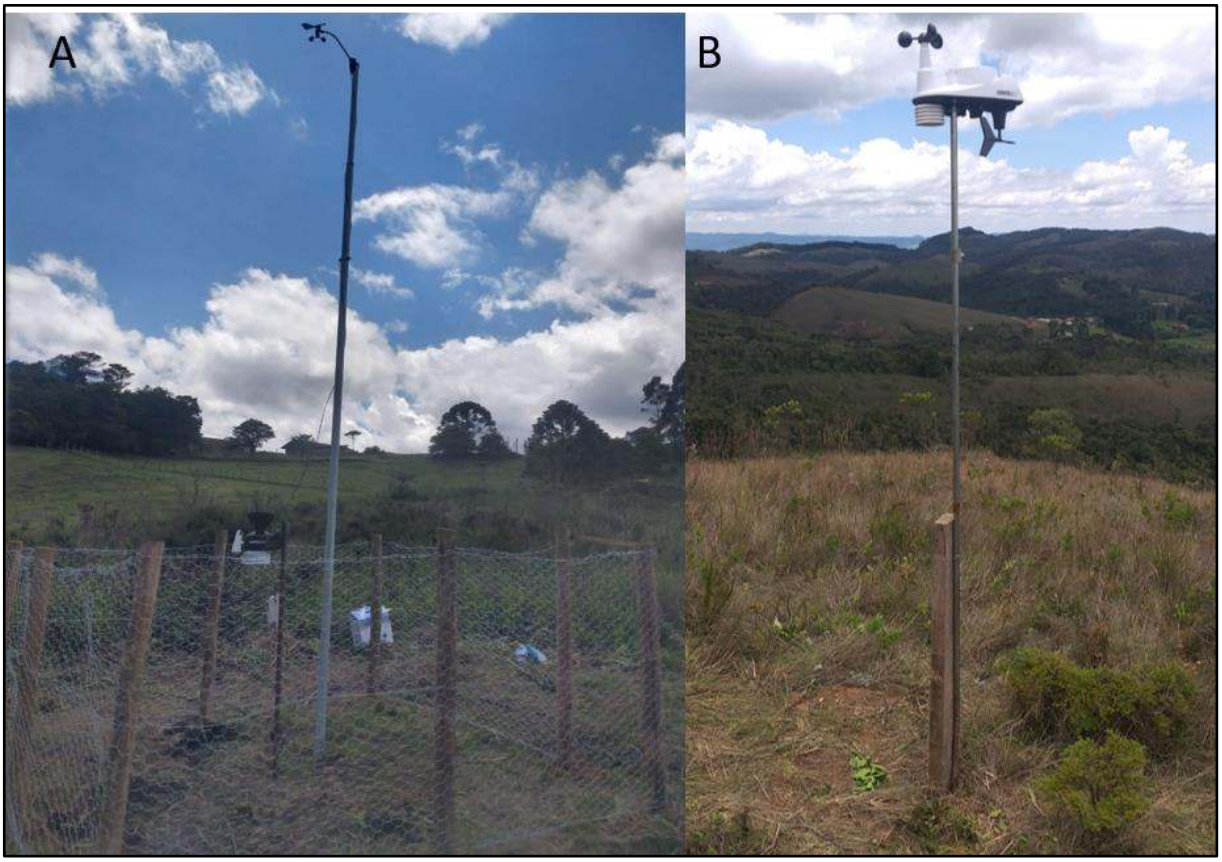
Para a caracterização fisiográfica da área de estudo foram utilizados os recursos do Google Earth, Modelos Numéricos de Elevação (MIRANDA, 2005), bem como levantamentos fotográficos realizados em campo. Na elaboração dos mapas foi utilizado o programa QGIS 3.16.

Para a identificação dos sistemas atmosféricos atuantes nas duas datas em que ocorreram as menores temperaturas mínimas do mês, além das cartas sinóticas de superfície disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foram utilizadas reanálises ERA5, do modelo meteorológico ECMWF, com resolução de 0,25° e 137 níveis na vertical (HERSBACH et al, 2018). As variáveis usadas foram: umidade específica em 700 hPa, altura geopotencial em 500 hPa, temperatura do ar em 850 hPa e pressão ao nível médio do mar.

Os registros de dados meteorológicos foram obtidos de duas estações meteorológicas profissionais e particulares (Davis Vantage Pro 2 e Davis Vantage Vue (figura 2), e um sensor de relva.

Os pontos de monitoramento das estações em questão situam-se a 1,5km distância em linha reta um do outro, desnivelados em 140 metros de altitude e (figura 3), e localizadas nas coordenadas A (22° 37.284'S, 45° 23.615'O) e B (22° 37.413'S, 45° 22.760'O).

Figura 2 – Estações automáticas: **A** - Davis Vantage Pro 2 6152 e **B** - Davis Vantage Vue



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 3- Perfil Topográfico entre os dois pontos de monitoramento



Fonte: Google Earth Pro. Organização dos autores.

Ambas as estações meteorológicas originam um banco de dados completo, minuto a minuto, de variáveis como: temperatura do ar, temperatura da relva (apenas na Pro 2), umidade, ponto de orvalho, velocidade e direção do vento, sensação térmica, pressão atmosférica, precipitação, e cálculo da intensidade da precipitação (*rain rate*). O termômetro de relva (Figura 4) mede a temperatura na superfície mais próxima ao solo, entre 3 cm e 15cm de altura, sendo esse tipo de medição a maneira determinante para se confirmar a ocorrência da geada no local em estudo.

Figura 4 – Sensor de Relva Davis



Fonte: Arquivo pessoal.

2.2. Procedimentos Metodológicos

A inexistência de estações meteorológicas com séries longas de dados no setor mais elevado da porção meridional da Mantiqueira terá sido, em larga medida, a principal causa da falta de entendimento sobre a variação climática em micro escala nas grandes altitudes do Sudeste Brasileiro, o que tem como consequência, o fraco conhecimento do mosaico de climas locais destas serrarias. Para ultrapassar esta limitação, iniciamos em 2018 a instalação da primeira estação meteorológica no Bairro Charco. Esta estação possuía um programa próprio, no qual os dados dos sensores, poderiam ser acompanhados de forma remota e online a cada minuto por qualquer pessoa, através do próprio sistema da marca, ou por outros sites compatíveis (*Wunderground.com*).

Esse primeiro equipamento, ainda simples (Modelo Ambiente Weather 1400-ip), possuía alguns problemas com o armazenamento dos dados, por exemplo, na falta de luz ou internet os dados acabavam não sendo salvos. Ainda assim, foi instalado para tentar cobrir essa grande área sem nenhum monitoramento meteorológico. E começou a registrar dados impressionantes, com destaque para o resfriamento que ali ocorre em noites estáveis e com céu limpo, acentuado por se tratar de baixada entre morros em grandes altitudes.

Em função disto, ainda em 2018, houve o esforço da instalação de uma segunda estação (modelo Davis Vantage Vue) na qual os dados ficam armazenados; porém, procurando

melhorar ainda mais o monitoramento, no ano de 2020, foram juntados esforços financeiros por apoio coletivo, resultando na instalação de um terceiro equipamento, o atual, que é um modelo Davis Vantage Pro 2 6152 que, além de prover dados ainda mais confiáveis, permite adicionar outros sensores extras da marca (Davis) e assim, adquiriu-se um sensor de relva, através do qual dados de temperatura próximo ao solo podem ser monitorados pela rede *internet*, de minuto em minuto.

Os dados para esta pesquisa foram organizados em tabelas do Excel nas escalas horárias e diárias. Primeiramente, para a estação A, apresentam-se os dados horárias através da escala de cores variando de frias a quentes, conforme o valor indicado for mais baixo ou mais alto. Na sequência, depois de organizados os dados de mínimas e máximas temperaturas diárias das duas estações automáticas, estes foram representados graficamente. As mínimas diárias em ambas as estações ocorreram entre às 6h e às 7h da manhã, por isso serviram como indicativo de ocorrência de inversão térmica.

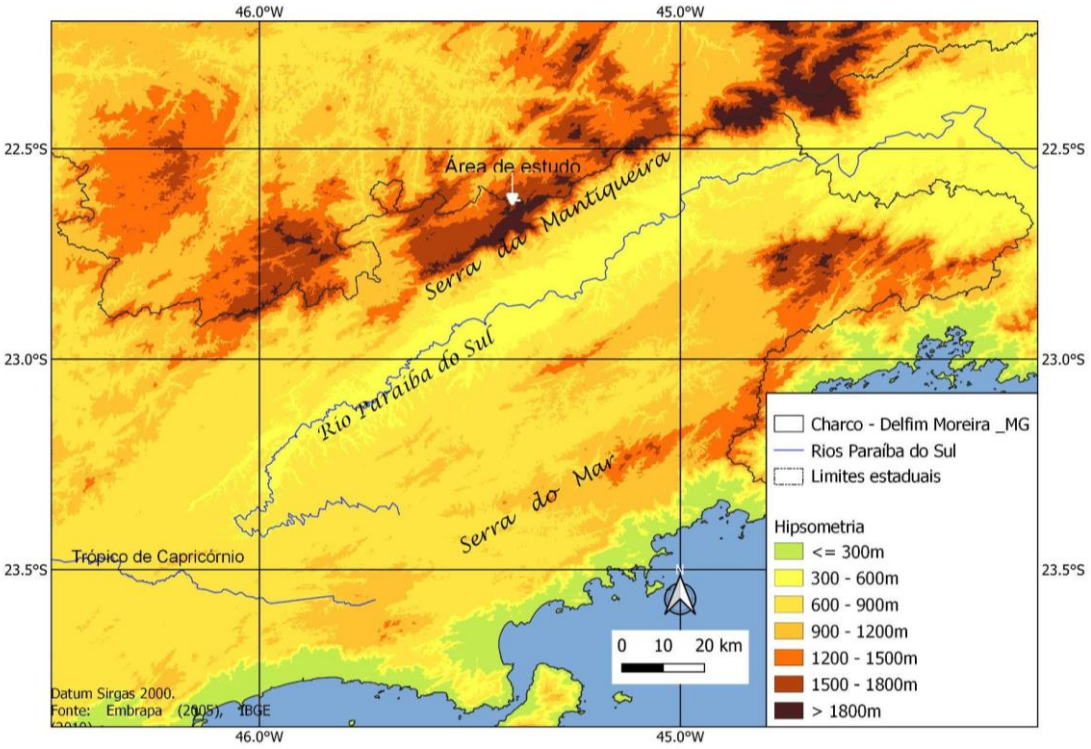
Os dados de temperatura de relva e de temperatura a 1,6m do solo na estação A foram utilizados para definir-se a ocorrência de geada no local. Foi contabilizado como dia com ocorrência de geada, aquele em que a temperatura foi inferior a 0°C. Além da comparação das temperaturas máximas e mínimas nos três pontos de coleta, também foram realizados alguns registros fotográficos dos fenômenos ocorridos devido ao grande resfriamento noturno.

3. RESULTADOS

Os primeiros fatores fisiográficos a serem considerados no entendimento do clima da localidade do Bairro do Charco são: a condição de sotavento na configuração do relevo regional e a cobertura vegetal.

A localidade do Bairro do Charco, se encontra a sotavento na Serra da Mantiqueira (Figura 5), isto é, localizado nas traseiras da costa desta Serra, mais ‘’protegida’’ da maior umidade trazida com o vento sul, ou, do oceano.

Figura 5 – Posição da área de estudo a sotavento das fontes de umidade de Sul e Sudeste.



Fonte: Organizado pelos Autores (2022).

A umidade em grande parte já condensa sobre as encostas de barlavento da Serra, tornando o ar mais seco a sotavento; essa secura é o maior coadjuvante do rápido resfriamento noturno nas baixadas a sotavento.

> Das características fisiográficas responsáveis pela modificação da circulação regional, destaca-se o papel do relevo, que cria situações de barlavento e sotavento, o que influencia o fluxo da circulação de superfície e, ao mesmo tempo, gera condições para a condensação a barlavento (chuvas orográficas = vertente úmida) e ressecamento a sotavento (vertente seca = sombra de chuva). Por outro lado, as diferenciações altimétricas apresentam, em mesoescala, papel destacado na distribuição da radiação líquida, na retenção do vapor de água e armazenamento de calor sensível (RIBEIRO,1993, p.4).

Na escala do vale do Ribeirão Vermelho, a cobertura vegetal (Figura 6) contribui para a desigual distribuição da temperatura. Nele predomina o Campo de Altitude, caracterizado pelo domínio de gramíneas e arbustos, contrastando na paisagem, por vezes com outra formação, a da floresta ombrófila Alto-Montana mista (IBGE, 2012). Ambas as formações interferem diretamente no comportamento climático em micro escala: o primeiro facilita a perda radiativa adquirida pela superfície durante o dia, e a segunda, barrando, em alguns locais, o acúmulo de bolsões de ar frio.

Figura 6 – Campos de Altitude contrastando na paisagem com a Floresta ombrófila Alto Montana Mista.



Fonte: Arquivo Pessoal.

Como resultado dos dados coletados, apresenta-se, inicialmente, a temperatura do ar horária para todo o mês de julho de 2021 (figura 7) na estação meteorológica A, localizada na baixada. Observa-se que durante todo o mês as temperaturas foram baixas, tanto que a temperatura média horária do mês foi de 5,3°C, média horária instantânea das mínimas 1,1°C e média horária instantânea das máximas, de 9,8°C. Somente nos dias 16/07, de 22/07 a 25/07 e no dia 27/07, a temperatura máxima horária instantânea diária ultrapassou os 20°C. A mínima horária instantânea ocorreu no dia 23/07, com -9,9 °C.

A partir dos dados referentes às temperaturas horárias instantâneas registradas na estação A, constata-se, principalmente, a grande perda radiativa já comentada anteriormente, com um resfriamento intenso ao pôr do sol (diferença na Média entre 17h e 18h de 4,6°C), assim como um rápido aquecimento ainda mais intenso ao nascer do sol (8,7°C de média na elevação da temperatura horária instantânea entre 8h e 9h). Esse rápido resfriamento, e principalmente o rápido aquecimento ao despontar do sol no horizonte, caracteriza grandes amplitudes térmicas, ou seja, a diferença da mínima para a máxima diária.

Figura 7 – Temperaturas Horárias da estação A de baixada no mês de julho de 2021.

BAIRRO DO CHARCO JULHO 2021

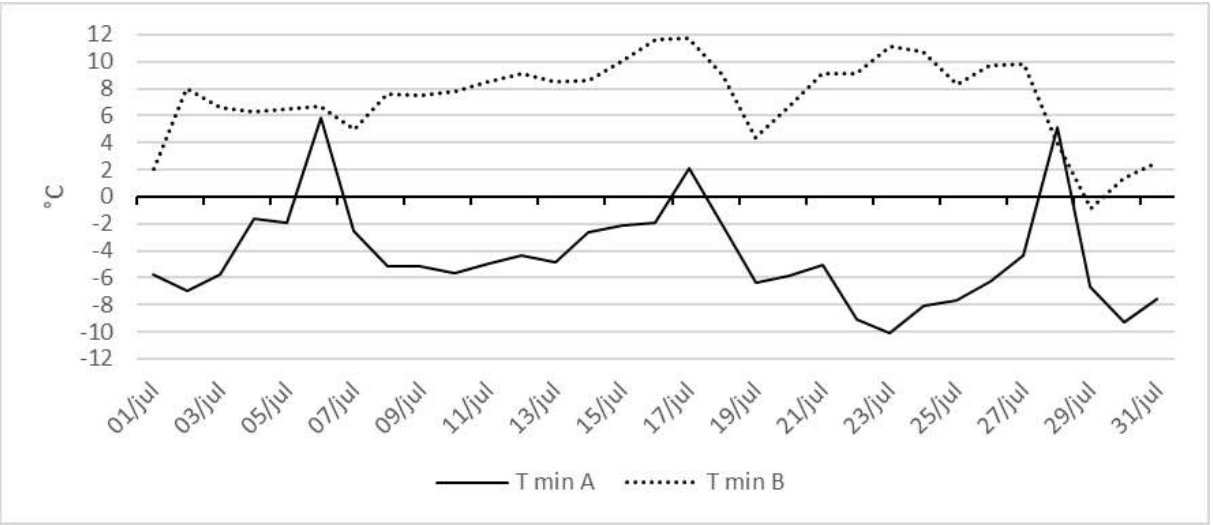
Dia	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10;00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	M.HOR
1	-4,6	-4,3	-5,1	-4,5	2,8	2,8	-3,7	-3,8	3,6	9,7	13,1	15,1	15,8	16,4	16,6	16,2	10,8	5,5	1,0	-1,7	-3,1	-4,1	-4,7	-5,2	3,5
2	-5,8	-6,3	-6,6	-6,7	-6,9	-6,9	-6,8	-6,7	-2,3	7,2	13,7	14,8	15,2	15,6	15,7	15,8	12,2	8,4	3,7	0,8	-0,8	-2,3	-3,1	-3,7	2,4
3	-3,9	-4,2	-4,7	-5,0	-5,0	-4,9	-5,4	-5,7	-1,4	8,0	14,4	16,1	16,9	17,8	18,0	15,1	14,0	11,9	7,8	3,7	2,3	1,4	0,8	0,7	4,5
4	0,8	1,3	6,1	5,3	3,4	1,9	-0,4	-1,6	1,4	10,6	13,8	14,7	14,1	14,6	14,8	14,7	12,3	11,1	8,9	9,5	9,2	8,2	9,2	7,2	8,0
5	2,9	1,2	1,4	1,3	0,3	-0,6	-1,1	-1,9	1,8	10,2	14,4	14,9	15,0	15,9	16,8	13,4	12,2	10,9	8,6	8,6	8,6	8,3	7,9	7,6	7,4
6	7,1	6,2	6,1	6,1	6,7	6,7	6,3	5,9	7,2	10,2	12,6	12,2	11,7	12,3	12,6	11,7	11,2	10,4	9,3	9,2	9,0	8,7	8,4	8,3	9,0
7	7,3	2,9	2,6	0,4	-1,1	-1,0	-1,8	-2,1	1,8	10,2	13,3	13,4	15,2	16,4	17,4	17,2	13,4	10,2	5,4	2,2	0,4	-0,7	-0,8	-1,9	5,8
8	-2,5	-2,8	-3,2	-3,2	-3,9	-4,7	-4,8	-5,2	-1,4	8,6	13,4	14,9	16,1	16,4	16,3	16,6	12,6	8,4	3,8	0,9	-0,7	-1,4	-1,9	-2,3	3,8
9	-3,2	-3,1	-3,7	-3,9	-4,1	-4,3	-4,9	-5,2	-1,4	8,4	14,8	15,9	16,9	17,6	18,0	18,3	14,1	12,0	5,9	2,3	0,3	-0,9	-2,0	-2,8	4,4
10	-3,5	-3,9	-4,2	-4,5	-4,8	-5,0	-5,3	-5,7	-1,8	8,7	15,0	16,6	17,3	17,8	18,8	18,9	13,6	9,0	4,1	0,9	-0,7	-1,6	-2,4	-2,8	3,9
11	-3,1	-3,3	-3,7	-4,1	-4,3	-4,6	-4,9	-4,9	-1,1	9,4	15,6	16,4	17,2	17,9	18,5	18,2	15,2	10,3	6,0	3,6	2,8	1,2	1,6	1,8	5,1
12	0,7	-0,3	-1,2	-1,8	-2,5	-3,3	-3,9	-4,3	-0,8	9,8	15,6	16,6	17,7	18,2	18,5	18,1	14,3	10,2	5,4	2,0	0,3	-0,9	-1,6	-2,3	5,2
13	-2,9	-3,1	-3,3	-3,8	-4,3	-4,7	-4,8	-4,9	-0,9	10,2	15,4	16,1	17,8	18,2	18,7	18,7	15,3	12,2	7,1	3,5	1,6	0,5	-0,6	-1,3	5,0
14	-1,8	-2,2	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-1,8	-	-	11,1	14,3	14,4	14,7	16,3	16,4	15,5	14,8	12,2	8,8	5,0	2,7	1,4	0,7	-0,1	6,0
15	-0,9	-0,9	-1,3	-1,7	-2,1	-1,9	-0,9	-1,6	3,4	12,3	16,8	17,2	17,0	17,7	17,5	18,7	16,2	14,0	8,7	4,9	3,1	1,9	1,0	0,7	6,7
16	0,4	0,2	-0,2	-0,7	-1,3	-1,4	-1,7	-1,8	1,3	12,1	18,4	19,2	18,9	19,6	20,1	20,2	18,2	16,5	14,1	12,2	11,1	10,3	9,2	7,8	9,3
17	6,6	4,4	2,8	2,5	2,7	4,1	3,1	2,4	6,3	15,3	17,6	17,3	16,9	18,1	18,4	17,6	16,9	15,8	12,4	9,3	8,6	7,3	5,7	3,8	9,8
18	3,6	3,3	1,9	1,2	1,4	1,5	3,2	5,7	8,2	12,4	15,1	17,7	17,9	17,8	18,5	16,1	14,1	10,5	5,5	2,3	0,6	-0,8	-1,9	0,1	7,3
19	2,1	1,5	-0,1	-2,6	-4,6	-5,6	-6,2	-6,3	-2,6	8,0	12,9	14,7	15,3	15,8	16,1	15,1	12,3	9,3	4,9	0,9	4,6	-0,3	0,9	3,8	4,6
20	-2,8	-1,9	6,3	7,0	7,6	7,1	7,2	2,7	3,5	14,4	17,7	18,1	18,9	19,4	19,2	19,3	15,3	10,3	3,7	-0,8	-2,9	-4,3	-5,3	-5,8	7,2
21	-5,1	-4,0	-4,1	-3,8	-4,8	-3,8	-3,8	-3,9	-1,4	4,8	13,6	15,3	16,2	16,7	16,4	16,4	15,9	12,7	6,6	2,2	0,1	-1,4	-2,7	-4,1	3,9
22	-5,1	-5,8	-6,6	-7,4	-8,4	-8,8	-9,0	-8,8	-2,7	8,1	18,5	20,8	21,8	22,0	22,6	22,3	18,3	13,6	4,9	0,2	-2,2	-3,4	-4,4	-5,1	4,0
23	-6,2	-7,0	-7,8	-8,6	-9,1	-9,6	-9,9	-9,8	-3,8	7,4	19,0	20,5	21,4	21,7	21,9	21,6	17,7	12,9	5,7	1,3	-1,2	-2,6	-3,7	-4,6	3,6
24	-5,3	-5,9	-6,3	-6,8	-7,2	-7,4	-7,8	-8,1	-2,4	8,0	18,0	19,2	20,1	21,3	21,6	21,4	17,2	11,3	5,4	1,2	-1,1	-2,4	-3,6	-4,3	4,0
25	-5,1	-5,6	-5,9	-6,2	-6,5	-7,2	-7,4	-7,4	-1,9	8,4	16,8	18,4	19,2	19,6	20,3	20,4	17,3	11,4	5,2	1,1	-1,1	-2,4	-3,1	-3,6	3,9
26	-4,0	-4,3	-4,9	-5,2	-5,7	-6,1	-6,0	-6,1	-0,4	10,2	16,1	16,7	17,8	18,6	19,0	18,7	16,3	11,1	4,9	0,9	-1,0	-1,8	-2,6	-2,8	4,1
27	-3,2	-3,8	-4,2	-3,9	-4,0	-3,8	-3,7	-3,6	1,4	12,2	16,3	17,2	18,6	19,0	19,6	20,4	17,8	14,3	9,8	5,5	3,5	2,5	1,7	3,7	6,4
28	5,2	6,6	7,2	8,2	8,8	9,3	9,7	11,5	11,5	12,2	11,9	11,9	11,7	11,5	11,4	11,4	11,6	10,6	10,3	9,6	9,1	8,6	7,6	6,8	9,8
29	5,4	3,4	0,6	-0,6	-1,2	-1,7	-2,2	-3,2	0,1	3,5	6,5	8,0	8,0	9,3	9,9	10,3	7,9	4,1	0,3	-2,0	-3,1	-4,1	-5,1	-5,8	2,0
30	-6,7	-7,2	-7,7	-7,9	-8,4	-8,6	-9,1	-8,9	-3,0	3,8	10,7	13,3	13,7	14,3	15,3	14,7	11,7	7,5	2,6	-1,2	-2,4	-3,5	-3,2	-4,4	1,1
31	-5,0	-5,9	-6,8	-7,3	-7,6	-7,6	-7,5	-6,2	-1,2	6,8	12,5	15,7	16,4	17,0	17,4	17,2	14,1	10,3	4,7	0,4	-1,6	-2,9	-3,3	-3,4	2,8
MED	-1,2	-1,8	-1,9	-2,3	-2,5	-2,7	-3,1	-3,3	0,7	9,4	14,8	15,9	16,5	17,1	17,5	17,1	14,3	10,9	6,3	3,2	1,8	0,6	0,0	-0,5	5,3
MAX	7,3	6,6	7,2	8,2	8,8	9,3	9,7	11,5	11,5	15,3	19,0	20,8	21,8	22,0	22,6	22,3	18,3	16,5	14,1	12,2	11,1	10,3	9,2	8,3	9,8
MIN	-6,7	-7,2	-7,8	-8,6	-9,1	-9,6	-9,9	-9,8	-3,8	3,5	6,5	8,0	8,0	9,3	9,9	10,3	7,9	4,1	0,3	-2,0	-3,1	-4,3	-5,3	-5,8	1,1

Fonte: Organizado pelos Autores (2022).

Com relação a umidade relativa do ar, na estação A, durante as noites em que ocorreu inversão térmica, observa-se um aumento significativo na umidade relativa durante as madrugadas, se aproximando dos 100% no fundo de vale, onde se encontra a estação A; ao contrário disso, durante o dia, há uma rápida queda nos valores da mesma, com ocorrência frequente de umidade relativa inferior a 20%. Esta condição foi predominante durante a segunda metade do mês (dias 19, 20, 22, 23 e 31), quando também a umidade mínima absoluta de 4% no dia 22 de julho, a menor marca registrada pela estação meteorológica até então. Esta umidade baixíssima acabou por propiciar, no dia seguinte (23/07), uma mínima diária de -10,1°C, que, por curiosidade, foi o menor registro já realizado em um local habitado na história do estado de Minas Gerais por uma estação meteorológica automática e profissional.

A seguir, comparam-se graficamente os dados de temperaturas mínimas do ar nas estações A e B (figura 8). As temperaturas mínimas ocorreram, em ambas, entre as 6h e as 7h da manhã. Fica claro também no gráfico, a proximidade das maiores mínimas na estação A com as menores mínimas da estação B, causada pela homogeneização das camadas de ar na escala local, seja pela ação de ventos que mistura as camadas, ou pelo efeito estufa de nuvens.

Figura 8 – Variação das temperaturas mínimas diárias de julho de 2021 nas estações A e B.



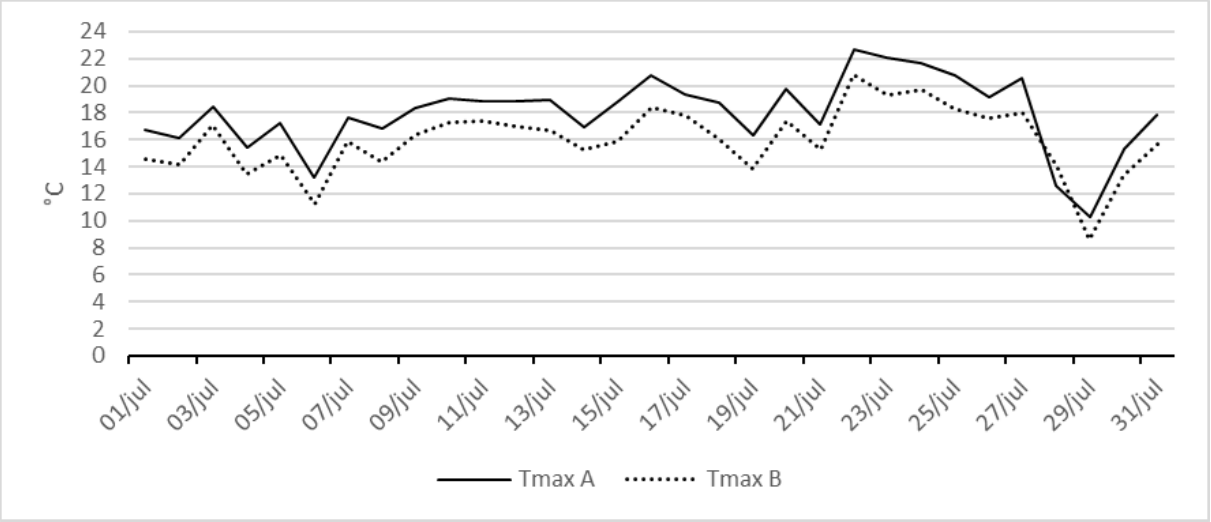
Fonte: Organizado pelos Autores (2022).

Na estação A, somente em três dias do mês a temperatura não foi negativa, nos dias 6/07, 17/07 e 28/07. Já o sensor de temperatura da estação B somente registrou um dia de temperatura negativa, que foi o dia 29/07.

Conforme se observa no gráfico, somente em um dia do período analisado não ocorreu inversão térmica pela manhã no Bairro do Charco, e, em 23 dias do mês, a temperatura na estação A foi pelo menos 10°C inferior àquela registrada em B. A máxima diferença de temperatura do ar entre as duas estações ocorreu no dia 23/07, com 21,2°C, lembrando que no dia anterior (22/07) foram registrados os 4% de umidade relativa do ar na estação A, como citado anteriormente, e 3% na estação B, resultando, no dia posterior (23/07), na mais intensa inversão térmica do mês de julho, como comentado.

Durante o dia, no entanto, a temperatura do ar na baixada, com a dissipação da camada de inversão térmica, sobe rapidamente, tanto que, no mês, a temperatura máxima média foi apenas 1,9°C maior em A do que em B (figura 9)

Figura 9 – Variação das temperaturas máximas diárias de julho de 2021 nas estações A e B.



Fonte: Organizado pelos Autores (2022).

A frequência na ocorrência de inversão térmica que se evidenciou na figura 8, acompanha a distribuição da geada na paisagem da localidade do Bairro do Charco. Como pode se visualizar na figura 10, a geada se acumula no talvegue e nos baixios do bairro do Charco, criando uma paisagem única muito apreciada e valorizada para o turismo de segunda residência.

À esquerda da figura 10 avista-se a baixada onde se localiza a estação A, e o conjunto da imagem mostra como o relevo propicia o acentuado acúmulo de ar frio nos fundos de vale na região, gerando um topoclima peculiar.

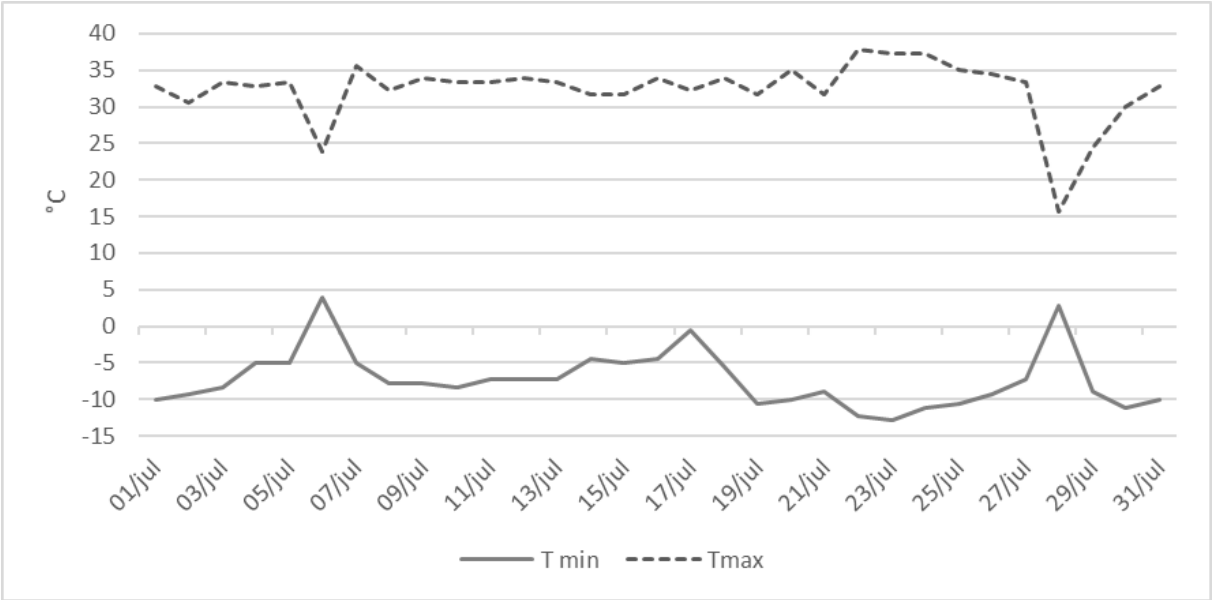
Figura 10 – Vista desde a estrada que conecta o Parque Estadual de Campos do Jordão ao Bairro do Charco no dia 30/07.



Fonte: Arquivo Pessoal.

Do sensor de relva (Figura 11) extraiu-se as temperaturas mínimas e máximas ocorridas no Bairro do Charco no mês de julho (Figura 10). Dos registros resultou que: temperatura de relva menor ou igual 0,0°C foi registrada em 29 dos 31 dias do mês, o menor valor registrado foi -12,8°C no dia 23 de Julho, e a média mínima da relva no mês ficou em -7,2°C, o que resulta em um local muito prejudicial a determinadas culturas agrícolas.

Figura 11 – Temperaturas mínimas e máximas da relva (5cm) do mês de julho de 2021 na estação A.



Fonte: Organizado pelos Autores (2022).

Identifica-se na figura 11 que, no mês de julho de 2021, somente em duas datas as temperaturas mínimas da relva foram positivas, e não ocorreu geada, dias 6/07 e 28/07. Destacam-se também as amplitudes térmicas diárias do termômetro de relva, nos dias em que ocorreram as temperaturas mais baixas na madrugada, durante o dia também foram registradas as máximas temperaturas de relva do mês; com amplitudes térmicas diárias de 50°C nos dias 23 e 24 de julho, demonstrando a acentuação do efeito da secura do ar no comportamento térmico das proximidades ao solo.

Informações como a da figura 11 são de grande importância no controle da quantidade de geadas no local, o que acaba ajudando no entendimento deste topoclima, além de contribuir para a compreensão do plantio de culturas condizentes ao clima em micro escala. Assim como na relva há um maior resfriamento, há também um maior aquecimento, pois a radiação diurna se acumula com maior intensidade nas superfícies (Vegetação, solo).

O resfriamento noturno intenso gera alguns fenômenos característicos de locais muito frios e castigados pela geada contínua durante, principalmente, os meses de inverno, resultando no congelamento de canos de casas, superfícies úmidas e expostas e, quando o solo está úmido, no fenômeno *Ice Needle*, ou *Pipkraker* (Figura 12), termo usual aplicado ao acúmulo de cristais de gelo delgados e parecidos com cerdas (agulhas) na superfície do solo ou imediatamente abaixo dela (WASHBURN, 1979).

Branson et al. (1992), citados por Vieira (1996), definem que *Ice Needle* se forma quando: a temperatura na relva baixa suficientemente para super resfriar a água à superfície do solo (aproximadamente -2°C), existir umidade no solo para que se inicie a segregação de gelo e, ao mesmo tempo, houver suprimento de água que traga calor latente suficiente para a frente de congelação. Assim, se equilibram as perdas caloríficas em direção à superfície, assegurando uma frente de congelamento estável para formar as agulhas alinhadas. Segundo Ponti, Cannone e Guglielmin (2018), a coluna de gelo ao crescer, pode levantar ou empurrar pequenas partículas de solo.

Figura 12 – Fenômeno *Ice Needle*, ou *Pipkraker* observado em uma estrada de terra no Bairro do Charco em 30 de Julho de 2021.

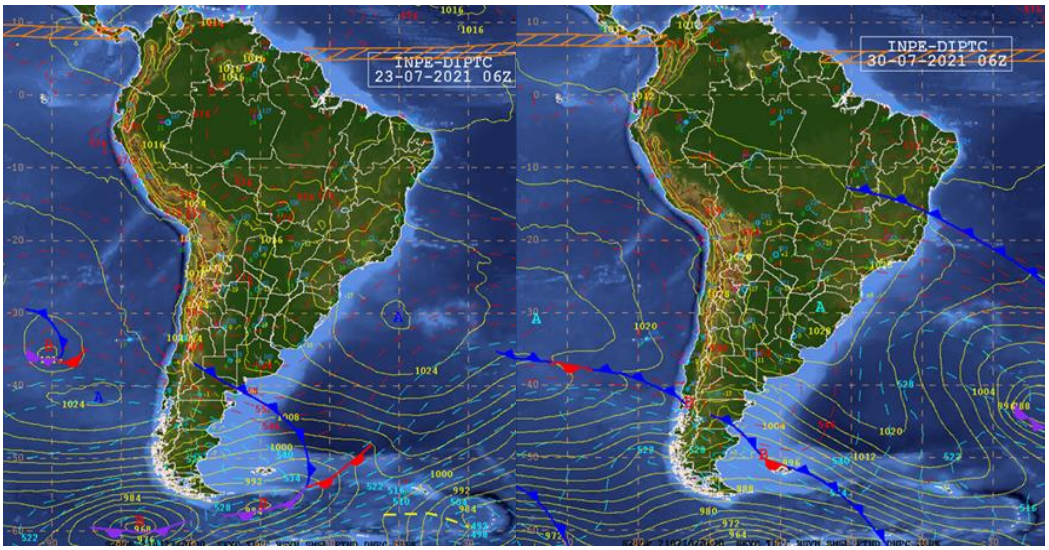


Fonte: Arquivo Pessoal.

O fenômeno foi observado no dia 30/07, dois dias depois da passagem de uma frente fria que resultou em precipitação de 28,4 mm na localidade, que empapou o solo de umidade propiciando a formação do fenômeno citado.

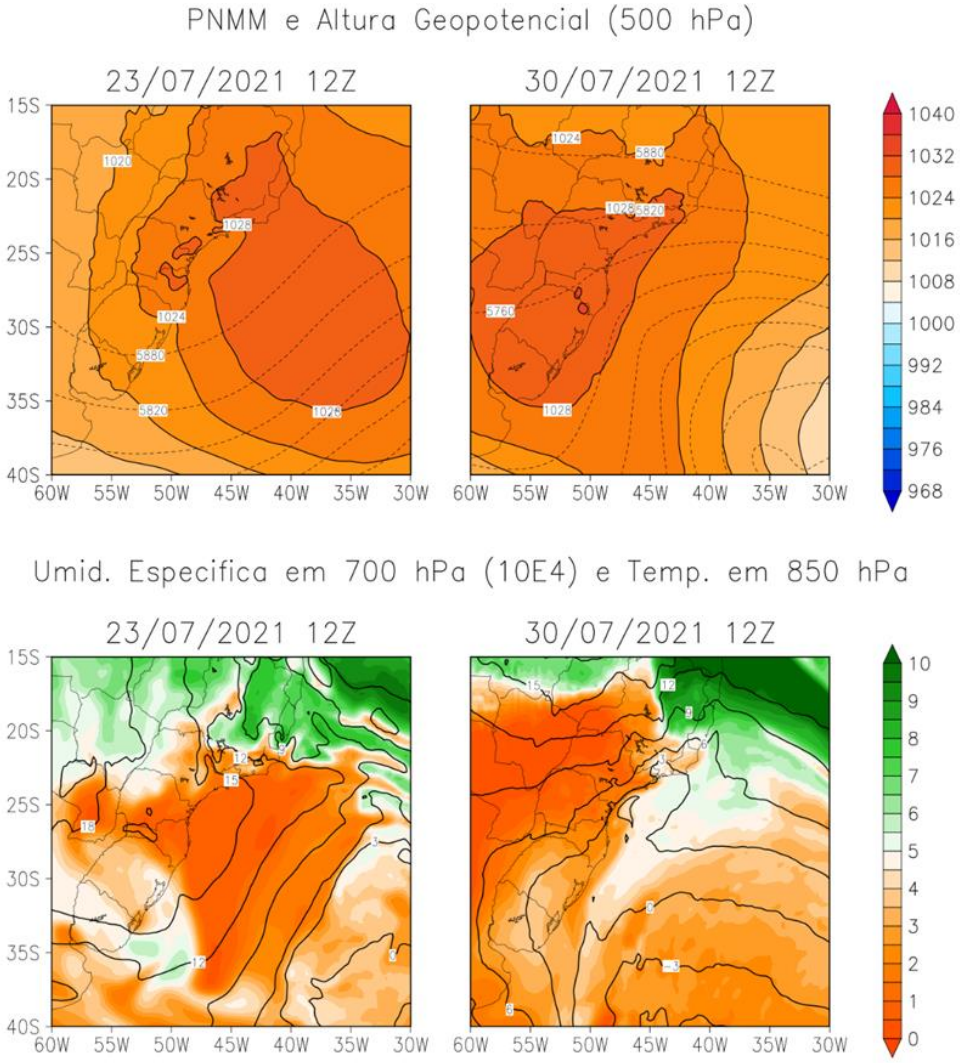
Por fim, ainda se realizou a caracterização da circulação atmosférica regional nas duas datas em que se registraram as mínimas temperaturas no mês: 23/07 e 30/07, com base nas cartas sinóticas de superfície (figura 13), e de características da atmosfera em altitude (figura 14).

Figura 13 - Cartas sinóticas de superfície dos dias 23 (esquerda) e 30 de julho de 2021 (direita).



Fonte: Grupo de Previsão do Tempo/CPTEC/INPE, 2021.

Figura 13 - Pressão ao nível médio do mar (cores) e altura geopotencial em 500 hPa (linhas tracejadas,acima), umidade específica em 700 hPa (cores) e temperatura em 850 hPa (linhas, abaixo) no horário das 12Z dos dias 23 (esquerda) e 30 de julho de 2021 (direita).



Fonte: Organizado pelos Autores (2022).

A primeira carta da figura 13, do dia 23 de julho de 2021, mostra a posição do anticiclone durante a segunda onda de frio daquele inverno, entre os dias 17 e 23, que atingiu grande parte do Centro-Sul do país, provocando forte queda nas temperaturas nos estados da região Sul, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais (LUCYRIO et al., 2021). Uma intensa massa de ar frio de origem polar, impulsionada por um anticiclone migratório avançou pelo continente interagindo com um ciclone extratropical próximo da costa da região Sul. A alta migratória avançou da Argentina em direção ao Brasil entre os dias 17 e 19, interagindo fortemente com o ciclone, e no dia 20, com o afastamento do ciclone, também o anticiclone iniciou seu típico deslocamento para leste em direção ao oceano.

No dia 20 de julho, fortes geadas atingiram regiões produtoras de café e cana-de-açúcar no interior de São Paulo e sul de Minas Gerais, momento em que, nos altos e médios níveis da atmosfera se observava um amplo cavado associado ao ramo norte do jato polar que se propagava no setor a leste da alta pressão. Este padrão, descrito por Lucyrio et al. (2019), é típico de ondas de frio que provocam geadas no interior de São Paulo e sul de Minas Gerais. Entre os dias 21 e 23, o anticiclone se deslocava ao largo do litoral da região Sudeste (Figura 13), mantendo o tempo estável na região; já nos médios níveis, sobre o continente, nota-se a ampliação de uma crista. Este padrão de circulação dificulta a formação de nebulosidade e mantém o ar bastante seco.

No dia 23 de julho temperaturas muito baixas foram observadas em estações meteorológicas localizadas em baixadas sobre a Serra da Mantiqueira, e grande parte deste resfriamento resultou do ar seco (Figura 14), haja vista que a diferença entre as temperaturas mínimas registradas nas estações A e B foi grande. As regiões de vales e baixadas, em geral, estão mais protegidas dos ventos regionais e, portanto, menos sujeitas a misturas turbulentas, o que favorece uma queda contínua das temperaturas em noites e madrugadas de tempo estável (REBOITA et al., 2014; LUCYRIO et al., 2020).

Nos últimos dias de julho, entre os dias 26 e 31, o Brasil foi atingido pela terceira onda de frio do inverno. Em muitos locais das regiões Sul e Sudeste esta foi a onda de frio mais forte do inverno de 2021. No dia 30 novas e fortes geadas atingiram São Paulo e Minas Gerais. Os sistemas que provocaram este evento de onda de frio foram similares aos dos outros dois eventos do inverno de 2021, com um anticiclone avançando pelo continente em direção ao Brasil interagindo com um ciclone extratropical próximo da costa do Sul e Sudeste, associado a um amplo cavado nos médios e altos níveis da atmosfera. Em relação às outras duas ondas de frio, houve uma amplificação maior do cavado na média atmosfera, o que favoreceu ingresso de ar mais frio para regiões mais ao norte.

As temperaturas baixas no alto da Serra da Mantiqueira no dia 30 (Figura 12) estiveram associadas, neste caso, ao ar frio de origem polar, e não somente ao ar seco. Isso pode ser explicado pela circulação, pois o anticiclone migratório ainda estava centrado no continente sobre o Sul do país (Figura 13), mas com suas bordas atuando no Sudeste, associado ao cavado em 500 hPa que estava amplificado e mantendo ar frio de origem polar sobre a região (Figura 14). A influência do ar de origem polar se evidencia pela diferença entre as temperaturas

mínimas e máximas observadas em A e B (figura 8 e 9), inferior à diferença observada no dia 23.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo mostrou os primeiros resultados de registros meteorológicos que vem sendo realizados nas superfícies de Cimeira na Serra da Mantiqueira desde 2018, mais especificamente na localidade de Charco, no vale do Ribeirão Vermelho, em Delfim Moreira-MG.

Primeiramente, ressalta-se que no período analisado (julho de 2021) esta área apresentou características continentais (grande amplitude térmica diária devida a baixa umidade do ar). Em parte, a baixa umidade está relacionada à intensificação do ASAS sobre o Sudeste neste período do ano. Localmente, o escoamento nas vertentes a sotavento da Serra da Mantiqueira se acopla aos movimentos descendentes desta célula de circulação atmosférica, fazendo diminuir ainda mais a umidade relativa na baixa troposfera e aumentar a amplitude térmica diurna.

Dado esse ressecamento do ar, localmente, constatou-se a frequência, praticamente diária, de dois fenômenos que são consequência do intenso resfriamento noturno: inversão térmica de radiação e geada. A identificação e a análise de cartas sinóticas, as composições e a análise de componentes principais indicaram que o ambiente mais propício à formação das geadas é o resfriamento por perda radiativa noturna devido à presença da ASAS. Ainda assim, para o mês analisado constatou-se que contribuiu para a ocorrência de geada, o reforço de ar polar que o ASAS recebe neste período do ano.

Inversão térmica no vale do Ribeirão Vermelho, com temperatura mínima do ar em A (baixada) menor do que em B (topo) – ocorreu em 29 dias do mês de julho de 2021. Já quanto à geada, enquanto na estação A (baixada), a temperatura mínima foi inferior a 0°C em 28 dias, em B só foi registrada esta temperatura uma vez. O termômetro de relva, na baixada, registrou 29 dias de temperatura inferior a 0°C.

O estudo também mostrou a grande variabilidade espacial da temperatura do ar numa área de pequenas dimensões (<4km^2). Ficou evidenciado que as diferenças estão relacionadas ao ar seco e ao relevo. As regiões de vales e baixadas, menos sujeitas a misturas turbulentas, tem queda contínua da temperatura em noites e madrugadas de tempo estável.

O interesse em compreender estas diferenças espaciais estimula para a continuidade do estudo, com a realização de uma análise mais detalhada da cobertura vegetal e do relevo local, com identificação de orientação de vertentes, declividade e caminhos preferenciais para drenagem de ar frio em noites anticiclônicas, calmas e sem nebulosidade. A partir do entendimento das características climáticas deste vale, com estas observações complementares, espera-se poder extrapolar os estudos para locais topograficamente análogos.

AGRADECIMENTOS

Os autores desta pesquisa agradecem aos moradores do Bairro do Charco, e parceiros do projeto, todo o suporte e empenho prestados para que os dados fossem coletados e disponibilizados para esta pesquisa, em especial, aos proprietários dos terrenos onde ficam as estações meteorológicas, Sra. Elina Faria, Sr. Luiz Mozart e Sr. Cristóvão; à Nina Rosa e Roberto Cardoso pela contribuição financeira de maior vulto; e ainda aos queridos Suze Magalhães, Sr. Sauer, Sr. Osvaldo Guimarães, Rodrigo Ribeiro, Mateus Ribeiro, Matheus Guimarães e José Raimundo, pela ajuda direta ou indireta.

REFERÊNCIAS

ARMANI, Gustavo, e GALVANI, Emerson. Fluxos polares e o ritmo dos sistemas atmosféricos no nordeste do estado de São Paulo. **Sociedade & Natureza**, vol. 23, n. 1, p. 7-22, 2011. DOI: https://doi.org/10.1590/S1982-45132011000100002. Disponível em: https://seer.ufu.br/index.php/sociedadenatureza/article/view/11432. Acesso em: 29 jan. 2021.

DE LIMA, Nádia; GALVANI, Emerson; FALCÃO, Rita. Análise da temperatura do ar no perfil topoclimático do pico da bandeira, Parque Nacional Alto Caparaó, Brasil, entre as altitudes de 1106 m a 2892 m. In: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física, 2010, Coimbra-PT. **Anais** [...] Coimbra, 26-30 mai. 2010. Disponível em: https://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/. Acesso em: 29 jan. 2021.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/ INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (CPTEC/INPE). **Tempo**. Disponível em: < http://tempo.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 7 fev. 2022.

GALVANI, E.; CATARUCCI, A. F. M.; CONICELLI, B.P.; BARBOSA, C.K.; LEAL, F. M.; VICENTINI J. S.B. Avaliação da temperatura do ar no perfil topoclimático do pico das Agulhas Negras, RJ –

cota 1800 a 2760 metros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 4, 2005. Ribeirão Preto. **Anais** [...] Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Biometeorologia, 2005.

GALVANI, E. Produção de dados em climatologia geográfica: aplicação às escalas inferiores do clima. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 15 – Edição Especial – XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, p.127-141, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v0i0.69839. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/69839. Acesso em 14 dez.2021.

GARCIA, N. O. **Elementos de climatologia**. Colección Ciencia y Técnica. Santa Fe-AG, 1994.

GEIGER, R. **Manual de Microclimatologia** - o clima da camada de ar junto ao solo. (Edição portuguesa traduzida a partir da 4ª edição alemã de 1961). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980.

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRISFORD, P.; BIAVATII, G.; HORÁNYI, A.; MUÑOZ SABATER, J.; NICOLAS, J.; PEUBEY, C.; RADU, R.; ROZUM, I.; SCHEPERS, D.; SIMMONS, A., SOCI, C., DEE, D., THÉPAUT, J-N. **ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present**. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2018. Disponível em: https://cds.climate.copernicus.eu. Acesso em 4 fev. 2022.

LUCYRIO, V.; GÖELZER, A. S.; NOGUEIRA, N. C.; REBOITA, M. S. Geadas no Sudeste do Brasil em julho de 2021: Caracterização Sinótica e Impactos na Cafeicultura. VIII Seminário de Recursos Naturais, 2021. **Anais** [...] Itajubá-MG, 25-29 out. 2021. Disponível em: https://viiisrn.unifei.edu.br/trabalhos. Acesso em: 29 jan. 2022.

LUCYRIO, V.; REBOITA, M. S.; ALBIERI, M. C. G. Ondas de frio intensas sobre o nordeste do Estado de São Paulo entre 1961 e 2017. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 15, v. 25, p. 571-593, 2019. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/68125. Acesso em 5 fev. 2022.

LUCYRIO, V.; NUNES, M.; REBOITA, M.; LEMES, M. Validação das previsões de três ondas de frio pelo modelo GFS no Centro-Norte do Estado de São Paulo e Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 05, p. 1-25, 2020. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p1994-2018. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/issue/view/2970. Acesso em 5 fev. 2022.

MARQUES NETO, R. O horst da Mantiqueira Meridional: proposta de compartimentação morfoestrutural para sua porção mineira. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 3, p. 561-577, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i3.1118. Disponível em: https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1118/614. Acesso em 11 dez. 2021.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 17 fev. 2022.

MONTEIRO, C. A. F. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil.** São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1969 (Série Teses e Monografias, 1).

MORA, C. Padrões térmicos no alto vale do Zêzere. Condicionantes topográficas e meteorológicas. **Finisterra**, v. 4, n. 87, 2009. p. 1-15. DOI: https://doi.org/10.18055/Finis1377. Disponível em: https://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/1377. Acesso em 20 jan. 2022.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422p.

NUNES, L, H.; VICENTE, A. K.; CANDIDO, D.H. Clima da Região Sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. **Tempo e clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009. P. 243-256.

PONTI, S.; CANNONE, N.; GUGLIELMIN, M. Needle Ice Formation, Induced Frost Heave, and Frost Creep: A Case Study through Photogrammetry at Stelvio Pass (Italian Central Alps). **Catena** (Giessen), v.164, p. 62-70, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.01.009. Disponível em: : www.elsevier.com/locate/catena. Acesso em 3 fev. 2022.

REBOITA, M. S.; ASSIREU, A.; DA SILVA, L. C.; RIOS, N., Evidências de Circulação de Brisa Vale-Montanha na Serra da Mantiqueira: Cidade de Itajubá–MG. **Ciência e Natura**, v. 36, n.1, p. 61-71, 2014. DOI: https://doi.org/10.5902/2179460X12876, Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/issue/archive/2. Acesso em 6 fev. 2022;

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. **Boletim de Geografia Teorética,** 23(46), p.288-294, 1993.

SAPUCCI, C. R.; REBOITA, M. S.; CARVALHO, V. S. B.; MARTINS, F. B. Condições meteorológicas associadas com a ocorrência de geadas na Serra da Mantiqueira, região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14 (Edição Especial Dossiê Clima de Minas Gerais), p. 153-167, 2018. DOI: Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/60948#. Acesso em 7 fev. 2022.

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, p. 229-246, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v14i1.36314.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**, Rio de Janeiro: IBGE, 2012. (Manuais técnicos em geociências). Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf Acesso em 23 jan. 2022.

VIEIRA, G.. A acção dos Pipkrakes na morfogénese actual na serra dos Gerês. **Finisterra**, V. 31 N. 61, p. 3-28, 1996. DOI: https://doi.org/10.18055/Finis1807. Disponível em: https://revistas.rcaap.pt/finisterra. Acesso em 25 jan. 2022.

WASHBURN, A.L. **Geocryology: A Survey of Periglacial Processes and Environments**. London: Edward Arnold (1979). 406 p.