REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

A CULTURA DO CAFÉ EM VACARIA (RS): DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA O CULTIVO EM REGIÃO DE ALTITUDE

COFFEE CULTURE IN VACARIA (RS): CHALLENGES AND PROSPECTS FOR CULTIVATION IN A HIGH-ALTITUDE REGION

LA CULTURA DEL CAFÉ EN VACARIA (RS): DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS PARA EL CULTIVO EN UNA REGIÓN DE GRAN ALTITUDE

Breno Borges
Graduando em Agronomia. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Unidade Universitária em Vacaria, Vacaria, RS, Brasil. ORCID: https://orcid.org/0009-0005-3442-5626. E-mail: breno.ly2@hotmail.com

Guilherme Mesacasa Zardo
Graduando em Agronomia. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Unidade Universitária em Vacaria, Vacaria, RS, Brasil. ORCID: https://orcid.org/0009-0009-2815-8436. E-mail: guilherme-zardo@uergs.edu.br

Eléia Righi
Doutora em Geografia. Professora Adjunta da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Unidade Universitária em Vacaria, Vacaria, RS, Brasil. Pós-Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2766-8719. E-mail: eleia-righi@uergs.edu.br

Gilberto Luiz Putti
Doutor. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), *Campus* Bento Gonçalves, Bento Gonçalves, RS, Brasil. ORCID: https://orcid.org/0009-0005-6321-3470. E-mail: gilberto.putti@bento.ifrs.edu.br

Fernando Henrique Batista Machado
Mestre. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais (IFNMG), Minas Gerais, Brasil. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9448-0102. E-mail: fernando.machado@ifnmg.edu.br

Andressa Comiotto
Doutora. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), *Campus* Bento Gonçalves, Bento Gonçalves, RS, Brasil. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-8206-3429. E-mail:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

andressa.comiotto@bento.ifrs.edu.br

Christhian Santana Cunha
Doutor em Sensoriamento Remoto. Gestor Ambiental, pesquisador associado da Universidade de Manchester (Reino Unido) e sócio da AmbGEO Cursos e Treinamentos. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0755-6760

Carla Azambuja Centeno Bocchese
Doutora em Fitotecnia. Professora Adjunta da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Unidade Universitária em Vacaria, Vacaria, RS, Brasil. E-mail: carla-bocchese@uergs.edu.br

Resumo

A cafeicultura tem expandido suas fronteiras de cultivo em busca de novas áreas aptas frente às mudanças climáticas. Nesse contexto, este trabalho objetivou avaliar a adaptação de diferentes materiais genéticos de cafeeiro às condições edafoclimáticas de Vacaria, nos Campos de Cima da Serra (RS). O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), entre fevereiro de 2025 e maio de 2026, acompanhando três etapas de implantação da cultura e diferentes práticas de manejo. Foram avaliadas mudas de *Coffea arabica*, *Coffea canephora* (Conilon) e *Coffea arabica* cv. Mundo Novo enxertada, relacionando seu desenvolvimento às condições climáticas registradas pela estação meteorológica automática A880 do INMET. O primeiro plantio apresentou perda total em decorrência de foto estresse causado por elevada radiação solar, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar. O segundo plantio também foi perdido devido à ocorrência de geadas severas, com temperaturas mínimas de até -4,2 °C. Após a adoção de estratégias de manejo, como sombreamento, irrigação, fertirrigação e proteção contra geadas, o terceiro plantio apresentou bom estabelecimento e desenvolvimento vegetativo. Entre os materiais avaliados, o *Coffea canephora* apresentou maior crescimento inicial, enquanto o *Coffea arabica* mostrou maior sensibilidade aos eventos de frio. Conclui-se que o cultivo de café em Vacaria apresenta potencial, desde que associado a práticas de manejo adaptadas às condições climáticas locais, sendo necessários estudos de longo prazo para avaliar produtividade, qualidade dos grãos e viabilidade econômica da cultura em regiões de altitude do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: Cafeicultura; *Coffea arabica*; *Coffea canephora*; Geadas; Regiões de altitude.

Abstract

Coffee cultivation has been expanding its growing boundaries in search of new areas suitable for production amidst climate change. In this context, this study aimed to evaluate the adaptation of different coffee genetic materials to the soil and climatic conditions of Vacaria, in the Campos de Cima da Serra region of Rio Grande do Sul (RS). The study was conducted at the experimental site of the State University of Rio Grande do Sul (UERGS) between February 2025 and May 2026, monitoring three crop establishment phases and various management practices. Seedlings of *Coffea ar*abica, *Coffea canephora* (Conilon), and grafted *Coffea arabica* cv. Mundo Novo were evaluated, with their development correlated to climatic conditions recorded by the INMET automatic weather station A880. The first planting resulted in total loss due to photo-stress caused by high solar radiation, high temperatures, and low relative humidity. The second planting was also lost due to severe frost events, with minimum temperatures dropping as low as -4.2°C. Following the implementation of management strategies such as shading, irrigation, fertigation, and frost protection

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

the third planting showed successful establishment and vegetative development. Among the materials evaluated, *Coffea canephora* exhibited greater initial growth, whereas *Coffea arabica* showed higher sensitivity to cold events. It is concluded that coffee cultivation in Vacaria holds potential, provided it is combined with management practices adapted to local climatic conditions; however, long-term studies are required to assess productivity, bean quality, and the economic viability of the crop in the highland regions of Rio Grande do Sul.

Keywords: Coffee growing; *Coffea arabica*; *Coffea canephora*; Frosts; High-altitude regions.

Resumen

El cultivo de café ha ido expandiendo sus fronteras productivas en busca de nuevas áreas aptas para la producción frente al cambio climático. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la adaptación de diferentes materiales genéticos de café a las condiciones edafoclimáticas de Vacaria, en la región de Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul (RS). La investigación se llevó a cabo en el sitio experimental de la Universidad Estatal de Rio Grande do Sul (UERGS) entre febrero de 2025 y mayo de 2026, monitoreando tres fases de establecimiento del cultivo y diversas prácticas de manejo. Se evaluaron plántulas de *Coffea arabica*, *Coffea canephora* (Conilon) y *Coffea arabica* cv. Mundo Novo injertado, correlacionando su desarrollo con las condiciones climáticas registradas por la estación meteorológica automática A880 del INMET. La primera plantación resultó en una pérdida total debido al fotoestrés provocado por la alta radiación solar, las elevadas temperaturas y la baja humedad relativa. La segunda plantación también se perdió debido a heladas severas, con temperaturas mínimas que descendieron hasta los -4,2 °C. Tras la implementación de estrategias de manejo, tales como sombreado, riego, fertirriego y protección contra heladas, la tercera plantación logró un establecimiento y desarrollo vegetativo exitosos. Entre los materiales evaluados, *Coffea canephora* mostró el mayor crecimiento inicial, mientras que *Coffea arabica* exhibió una mayor sensibilidad a las heladas. Se concluye que el cultivo de café en Vacaria tiene potencial, siempre que se combine con prácticas de manejo adaptadas a las condiciones climáticas locales; no obstante, se requieren estudios a largo plazo para evaluar la productividad, la calidad del grano y la viabilidad económica del cultivo en las regiones de mayor altitud de Rio Grande do Sul.

Palabras clave: Cultivo de café; *Coffea arabica; Coffea canephora*; Heladas; Regiones de gran altitud.

1. Introdução

A cafeicultura é uma atividade de grande relevância no cenário do agronegócio brasileiro, envolvendo mais de trezentos mil cafeicultores e, além do setor produtivo, movimentando um expressivo contingente de pessoas ao longo de toda a cadeia de comercialização (Deliza, 2021). O plantio de café a pleno sol no Brasil teve seu início a partir da libertação dos escravos com a redução de mão de obra a custo baixo (Roda *et al.,* 2023). Roda *et al.* (2023), salientam que o grau de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

luminosidade é o principal fator responsável pela produção do cafeeiro, pois afeta as gemas vegetativas e florais, que posteriormente se tornam os frutos. Do ponto de vista comercial, as duas espécies de café de maior importância são a *Coffea arabica* L., ou arábica, e a *Coffea canephora* P., ou conilon (Deliza, 2021).

Típicas de climas tropicais, as plantações de café foram adaptadas a diferentes regiões brasileiras, especialmente o Sudeste e o Estado de Minas Gerais. Um novo sistema de preparo do solo e manejo provou reduzir eficientemente as restrições mecânicas ao crescimento das raízes nos Cerrados e envolve preparação profunda do solo e aplicação de calcário e fertilizantes, melhorando as propriedades físicas e químicas do solo (Carducci *et al*., 2024).

Entre 1984 e 2015, ocorreram mudanças significativas na distribuição espacial das regiões especializadas na produção de café no Brasil. Estados como Paraná e São Paulo, historicamente relevantes na cafeicultura nacional, perderam protagonismo, mantendo apenas algumas microrregiões ainda especializadas na atividade. No biênio 2014/2015, cerca de 80% das microrregiões especializadas na produção cafeeira concentraram-se nos estados de Minas Gerais, Bahia, Rondônia e Espírito Santo. Minas Gerais e Bahia destacaram-se predominantemente na produção de café arábica, enquanto Rondônia apresentou especialização na produção de café conilon (Volsi *et al*., 2019).

Atualmente no Brasil existem 35 regiões produtoras de café, das quais 14 têm registros de Indicação Geográfica (IG). É o que mostra a nova edição do mapa “Origens de Café no Brasil”, elaborado pela Associação Brasileira de Cafés Especiais (BSCA, 2024).

Segundo Mendonça *et al*. (2011), o café é um dos produtos primários mais valiosos na economia mundial. Mas um problema conhecido na produção de café é a grande variabilidade espacial e temporal da produtividade das plantas. A bienalidade de produção é caracterizada pela variação de anos com alta e baixa produção. Esse fenômeno é mais pronunciado no café arábica, mas também ocorre no café conilon, normalmente com menor intensidade devido às práticas de poda e alternância de ramos plagiotrópicos produtivos.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

As plantas de *Coffea arabica* apresentam seis fases fenológicas, todas sensíveis às mudanças de temperatura e precipitação pluviométrica. Nas fases reprodutivas, a espécie requer dias curtos, temperaturas baixas e ausência de chuvas. Contudo, as fases fenológicas das plantas de café podem ser prejudicadas ou até mesmo inibidas por estações secas ou chuvosas muito longas ou muito curtas (Torres *et al.*, 2021).

Ainda, de acordo com Torres *et al*. (2021), o café apresenta melhor desempenho quando cultivado em regiões com temperaturas médias anuais entre 18 °C e 23 °C, precipitações anuais variando de 1.200 a 1.800 mm e altitudes recomendadas entre 600 e 1.200 metros. Já, Wang *et al.* (2025) identificaram que a produção de café pode diminuir em até 18,9% para cada redução de 1 °C na temperatura mínima diária durante a fase de maturação, sendo o estresse por frio nesse estágio um dos principais fatores climáticos limitantes.

No cultivo de café, a geada pode provocar efeitos severos, pois se trata de uma cultura sensível às baixas temperaturas. As lavouras mais jovens são especialmente vulneráveis, podendo ter seu crescimento comprometido e, em casos extremos, sofrer mortalidade (Morais *et al*., 2009; Caramori, 2016).

Peruta *et al.* (2025), destacam que temperaturas médias superiores a 23 °C podem acelerar a maturação dos frutos, comprometendo a qualidade do grão. Os autores também apontam que sistemas agroflorestais, ao aumentarem a oferta de sombra, podem reduzir a temperatura do ar e melhorar o microclima da lavoura. Contudo, o sombreamento excessivo pode estimular o crescimento vegetativo em detrimento da produção de flores, reduzindo o rendimento.

Uma meta-análise recente demonstrou que sistemas agroflorestais reduzem significativamente os riscos climáticos em cafeicultura, resultando em diminuição de 31% nas perdas de produtividade, 24% na incidência de pragas e doenças e 19% na degradação da qualidade. Esses sistemas sombreados criam microclimas mais favoráveis, capazes de proteger as plantas durante episódios de estresse térmico, incluindo possíveis efeitos de mitigação contra geadas (Patil *et al*., 2025).

Gomes *et al*. (2020), demonstram que a adoção de sistemas agroflorestais no cultivo do café configura-se como uma estratégia promissora para mitigar os

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

impactos negativos das mudanças climáticas, possibilitando a manutenção de até 75% da área atualmente considerada adequada para a produção cafeeira na região serrana do Sudeste do Brasil até 2050. Observou-se que sistemas agroflorestais com aproximadamente 50% de cobertura de sombra são especialmente eficazes na mitigação desses impactos em áreas situadas entre 600 e 800 m de altitude.

Já, Koh *et al*. (2020), ressaltam que desde 1974 (1974 a 2017), as temperaturas nos municípios cafeeiros brasileiros têm aumentado, em média, cerca de 0,25 °C por década, enquanto a precipitação anual tem apresentado redução, especialmente durante os períodos de floração e maturação do cafeeiro. Essas mudanças climáticas históricas já resultaram em perdas superiores a 20% na produtividade do café na região Sudeste do Brasil.

Dessa forma, têm aumentado os estudos voltados à obtenção de plantas que sejam simultaneamente resistentes e adaptadas a condições extremas (Damatta *et al*., 2019). Lima *et al*. (2015) observaram que o melhoramento de *Coffea canephora* (conilon) vinha priorizando resistência à seca e à ferrugem, indicando a necessidade de integrar também mecanismos de resistência a nematoides para reduzir os impactos das mudanças climáticas sobre a cafeicultura.

Venancio *et al*. (2020), Rodrigues *et al*. (2016) e Vilas-Boas *et al*. (2023) destacam que, apesar da robustez e tolerância ao calor do *Coffea canephora* (conilon), sua produtividade e qualidade têm sido ameaçadas por longos períodos de seca, precipitações irregulares e calor intenso ao longo do ano.

Nesse contexto, o presente trabalho buscou analisar a adaptação edafoclimática de variedades de café em uma área experimental localizada no município de Vacaria, nos Campos de Cima da Serra, no Estado do Rio Grande do Sul.

2. Metodologia

O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Unidade em Vacaria (RS), situada nos Campos de Cima da Serra, com altitude aproximada de 960 m. O experimento teve caráter

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

observacional e descritivo, acompanhando o desempenho de diferentes materiais genéticos de cafeeiro (*Coffea arabica*, *Coffea canephora* e *Coffea arabica* cv. Mundo Novo enxertada) submetidos às condições edafoclimáticas locais. As avaliações compreenderam o período de fevereiro de 2025 a maio de 2026, contemplando as etapas de implantação, manejo e desenvolvimento das mudas.

Foram registrados os principais manejos realizados na área experimental, incluindo preparo do solo, irrigação, adubação, fertirrigação, sombreamento com sombrite, poda, monitoramento fitossanitário e proteção contra geadas. O desenvolvimento das plantas foi acompanhado por meio de observações em campo e medições periódicas da altura das mudas, permitindo a comparação do desempenho entre as cultivares.

As condições climáticas foram obtidas da estação meteorológica automática A880 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), considerando precipitação, temperatura do ar, radiação solar e umidade relativa. Complementarmente, foi utilizada a base de dados ERA5-Land Daily Aggregated para a análise da série histórica de temperaturas (2000–2025), processada na plataforma Google Earth Engine. Os dados climáticos foram organizados em gráficos e tabelas para subsidiar a interpretação dos efeitos das condições meteorológicas sobre o desenvolvimento das plantas.

Os dados foram analisados de forma descritiva, por meio do acompanhamento do desenvolvimento das mudas e da comparação das variáveis agronômicas e climáticas observadas em campo, abordagem recomendada para estudos exploratórios em condições reais de cultivo (Piepho *et al*., 2018). A interpretação dos resultados foi fundamentada em estudos sobre fisiologia, manejo e adaptação climática do cafeeiro (DaMatta *et al*., 2019; Torres *et al*., 2021).

3. Resultados

Na área experimental de Vacaria, o primeiro plantio de *Coffea arabica* sofreu perda total (100%) em 18/02/2025, em decorrência de intensa queima foliar associada à fotoinibição severa, provocada pela combinação de elevada radiação

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

solar, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, condições que comprometeram a atividade fotossintética e levaram à morte das mudas.

Na ocasião, registrou-se temperatura máxima de 32,4°C e mínima de 12,5°C, amplitude térmica significativa que pode ter intensificado o estresse fisiológico das plantas. A radiação solar atingiu 28,9 MJ/m²/dia, valor considerado elevado e potencialmente danoso para tecidos vegetais não adaptados, especialmente em estágios iniciais de desenvolvimento. Além disso, a umidade relativa média de 35% contribuiu para o aumento da transpiração e desidratação foliar, agravando os danos.

Na sequência, foi solicitado um laudo (402) à Clínica Fitossanitária da UERGS, sob responsabilidade da Profª Drª Carla Bocchese (Fitopatologista), o qual indicou que as mudas de *Coffea arabica* apresentavam sintomas de escaldadura por radiação solar, caracterizados por escurecimento e aspecto de queima no limbo foliar, decorrentes do estresse causado por altas temperaturas e baixa umidade, sendo recomendada a adoção de sombreamento (sombrite ou consórcio com outras espécies) para reduzir a radiação direta e minimizar os danos às plantas.

A escaldadura no cafeeiro, causada pela exposição excessiva à radiação solar, provoca danos significativos ao aparato fotossintético, reduzindo drasticamente a fotossíntese, a condutância estomática e a transpiração das folhas afetadas, especialmente nas faces mais expostas ao sol (Santos *et al*., 2016).

Em função dessas perdas, foi realizado um segundo plantio, contudo, as plantas novamente apresentaram danos significativos. No 2º plantio, realizado em 24/06/2025, as plantas enfrentaram um inverno rigoroso, conforme os dados da estação INMET A880, foram registardas temperatura mínima de -3,7°C, máxima de 18,2°C, amplitude térmica de 22,1°C e umidade relativa de 75%, resultando em danos severos por geada associada a ventos superiores a 10 m/s e necrose em todas as cultivares; no dia seguinte (25/06/2025), ocorreu nova geada severa, com mínima de -3,6°C, máxima de 17,9°C, amplitude de 21,8°C e umidade de 78%, ocasionando mortalidade parcial e agravamento dos danos devido à alta umidade; por fim, em 01/07/2025, registrou-se o pico da geada, com temperatura mínima de -4,2°C, máxima de 16,5°C, amplitude de 20,4°C e umidade de 82%, atingindo o

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

limite crítico de -4°C descrito por Caramori *et al*. (2001) e resultando em perdas totais no novo lote.

Diante desse cenário, procedeu-se a uma terceira tentativa de plantio em setembro de 2025, a qual vem apresentando resultados satisfatórios, uma vez que as cultivares demonstram bom estabelecimento e desenvolvimento vegetativo compatível com as condições climáticas observadas no período. Nesta etapa, foram introduzidas mudas de *Coffea arabica, Coffea canephora* (Conilon) e da variedade *Coffea arabica* Mundo Novo enxertada, buscando avaliar a adaptação de diferentes materiais genéticos às condições de altitude e maior risco de geadas dos Campos de Cima da Serra.

Em 26 de setembro de 2025 foram plantadas 10 mudas de *Coffea arabica*, que sofreram queimaduras foliares em decorrência de um episódio de geada com temperatura mínima em torno de 5 °C, ainda que tenham permanecido vivas e em processo de recuperação.

Em 9 de outubro de 2025, foram acrescentadas 10 mudas de *Coffea canephora* (Conilon) e 10 mudas de Mundo Novo enxertadas, seguidas de irrigação de estabelecimento para favorecer o pegamento e reduzir o estresse hídrico inicial; no dia 10 de outubro de 2025, realizou-se a instalação de sombreamento com sombrite sobre as mudas, bem como a adubação de cobertura, com o objetivo de mitigar os efeitos da elevada radiação solar, atenuar a amplitude térmica e estimular o crescimento vegetativo das plantas.

De modo geral, as plantas de *Coffea arabica* apresentaram danos foliares, mas mantiveram viabilidade, enquanto as mudas de Conilon e de Mundo Novo enxertada exibiram bom estabelecimento e desenvolvimento inicial satisfatório, evidenciando resposta promissora quando associadas ao manejo de irrigação, sombreamento e adubação adotado na área.

Em 31 de outubro de 2025, realizou-se a aplicação de fertilizante, favorecendo o enraizamento e o vigor das mudas já implantadas. Em 5 de novembro de 2025, adicionaram-se 10 mudas de *Coffea arabica* não enxertadas, com altura média entre 15 e 17 cm que tiveram um bom desenvolvimento inicial.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

No Quadro 01 são apresentadas as imagens correspondentes a todas as etapas do processo, desde a preparação inicial do solo, passando pelo plantio das mudas, os manejos realizados ao longo do desenvolvimento (como irrigação, sombreamento e adubação), até o estado atual das plantas.

Quadro 01: Imagens correspondentes as etapas do processo.

 Queima de mudas causada por estresse térmico e excesso de radiação solar do primeiro plantio (estresse por calor).	 Segundo plantio com queima das mudas causada por geada (estresse por frio).
 Preparação do solo para o terceiro plantio.	 Terceiro plantio - mudas em fase de pré-plantio (outubro de 2025) - *Coffea arabica* Mundo Novo enxertada.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26



Cobertura das mudas com sombrite para proteção contra radiação solar e variações térmicas.



Estado atual das plantas em abril de 2026, com brotações ativas e adaptação gradual às condições ambientais.

Fonte: Autores (2026).

O Quadro 02 resume os eventos climáticos extremos de 2025, com base nos dados da estação A880, evidenciando a alternância entre estresses térmicos positivos (calor em fevereiro) e negativos (geadas em junho, julho e setembro). Esses fatores explicam as perdas observadas e reforçam a necessidade de manejo adaptativo, como sombreamento e irrigação.

Quadro 02: Condições climáticas extremas na estação A880-Vacaria (2025) e impactos nos plantios experimentais UERGS-Vacaria.

Período/Evento	**Data principal**	**Tmin (°C)**	**Tmax (°C)**	**Radiação solar (MJ/m²/dia)**	**UR média (%)**	**Impacto no experimento**
1º plantio: Calor excessivo	18/02/2025	12,5	**32,4**	28,9	35	Queima foliar total por foto inibição; 100% perdas em mudas de *C. arabica*
1º plantio: Pico radiação	20/02/2025	13,1	31,2	**29,2**	36	Necrose irreversível; inviabilização inicial
2º plantio:	24/06/2025	**-3,7**	18,2	22,1	75	Danos severos por

REMUNOM
ISSN 2178-6925

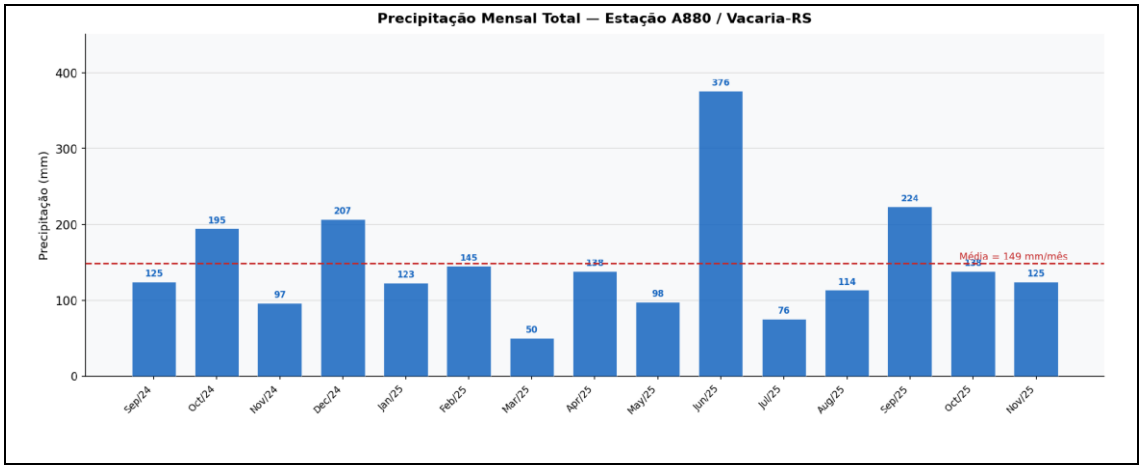
Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

Inverno rigoroso						geada + vento >10 m/s; necrose em todas cultivares
2º plantio: Geada severa	25/06/2025	**-3,6**	17,9	21,8	78	Mortalidade parcial; agravamento por umidade alta
2º plantio: Pico geada	01/07/2025	**-4,2**	16,5	20,4	82	Limite crítico (-4°C, Caramori *et al*., 2001); perdas totais no lote
3º plantio: Geada tardia	10/09/2025	**0,7**	22,3	24,6	65	Queimadura foliar em 10 mudas *C. arabica* (26/09); rebrote com manejo
Reforço: Final outono	05/11/2025	2,1	25,8	26,2	55	Estresse leve mitigado por sombrite/irrigação

Legenda: Dados agregados diários da INMET A880-Vacaria (registros horários). UR = umidade relativa diurna. Negrito indica picos extremos. Limiares: Tmin <-2°C (geada severa); Tmax >30°C + radiação >27 MJ/m²/dia (fotoestresse térmico).

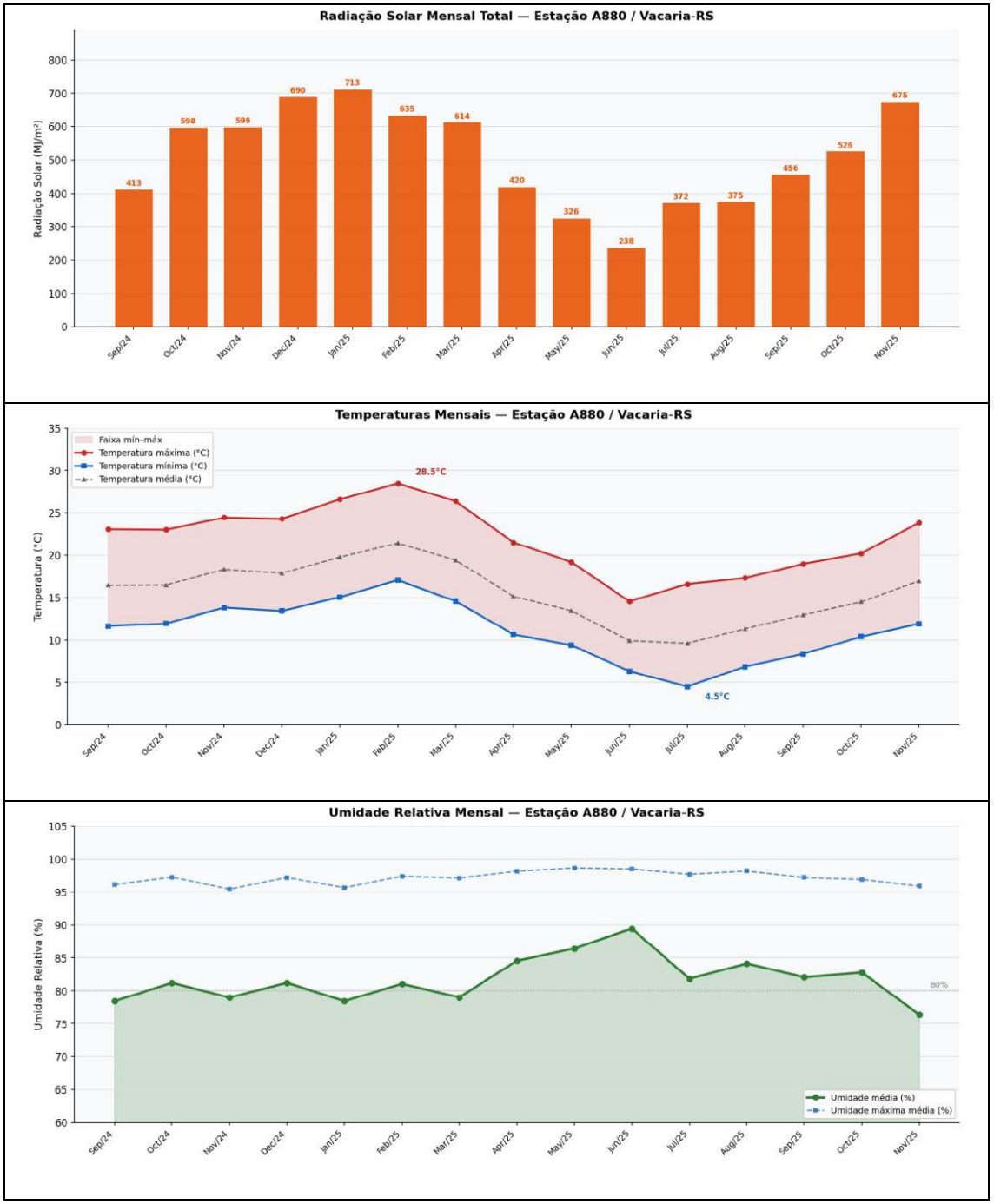
As variáveis climáticas registradas pela estação meteorológica automática A880 do INMET durante o período de setembro de 2024 a novembro de 2025 são apresentadas no Quadro 03, permitindo uma análise detalhada das condições que influenciaram cada etapa do experimento.

Quadro 03: Dados da estação A880-Vacaria.



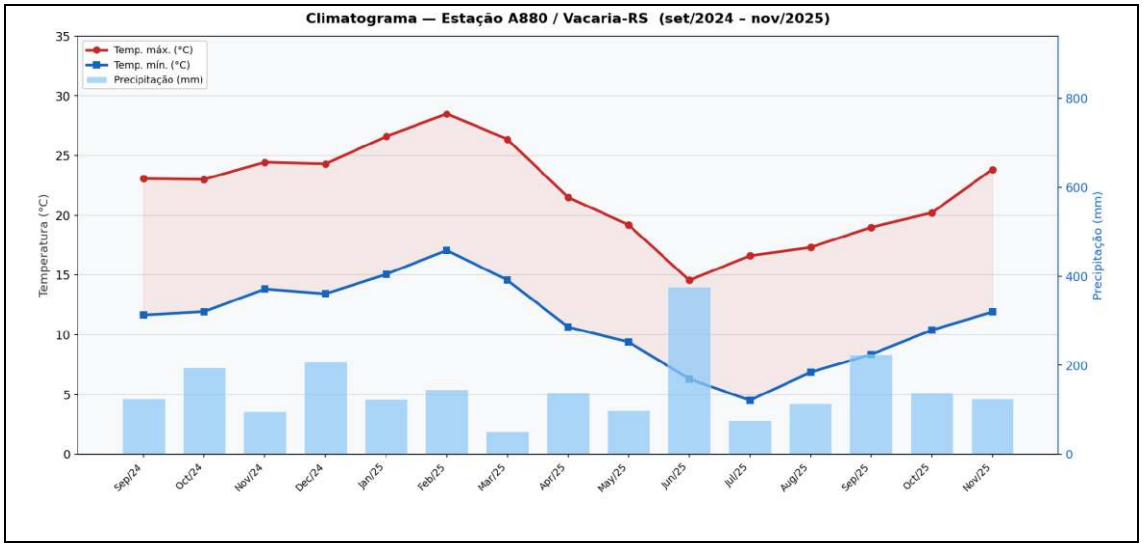
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26



REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26



Fonte: INMET, Estação A880/Vacaria-RS (set/2024–nov/2025).

A precipitação média do período foi de 149 mm/mês, com distribuição irregular. Março de 2025 registrou o menor acumulado (50 mm), intensificando o estresse hídrico associado às altas temperaturas e à elevada radiação solar, fatores que contribuíram para a perda do primeiro plantio. Em contraste, junho apresentou o maior volume de chuva (376 mm), enquanto setembro (224 mm) favoreceu o estabelecimento do terceiro plantio.

Os maiores índices de radiação solar ocorreram entre dezembro de 2024 e março de 2025, com pico em janeiro (713 MJ/m²), contexto que explica os danos por foto estresse observados no primeiro plantio. No inverno, a radiação diminuiu significativamente, atingindo o mínimo em junho (238 MJ/m²), quando a principal limitação passou a ser a ocorrência de geadas. A partir de setembro, o aumento da radiação reforçou a importância do sombreamento das mudas.

A temperatura também apresentou extremos marcantes. Fevereiro de 2025 registrou a maior temperatura máxima (28,5 °C), associada à perda do primeiro plantio, enquanto julho apresentou a menor temperatura mínima, com registros de até -4,2 °C, responsáveis pela destruição do segundo plantio. Entre setembro e novembro de 2025, as temperaturas tornaram-se mais amenas, favorecendo o estabelecimento das mudas.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

A umidade relativa permaneceu elevada (76–90%) durante todo o período. Entretanto, a combinação entre alta umidade e temperaturas negativas durante o inverno intensificou os danos causados pelas geadas no segundo plantio.

Para a análise de temperaturas históricas ocorreu a extração metodológica dos dados por meio da plataforma em nuvem Google Earth Engine. A rotina computacional iniciou com a inserção dos limites geográficos vetoriais do município de Vacaria como área espacial de interesse. Na sequência, um recorte temporal delimitou a busca para a janela compreendida entre o início do ano 2000 e o ano 2025.

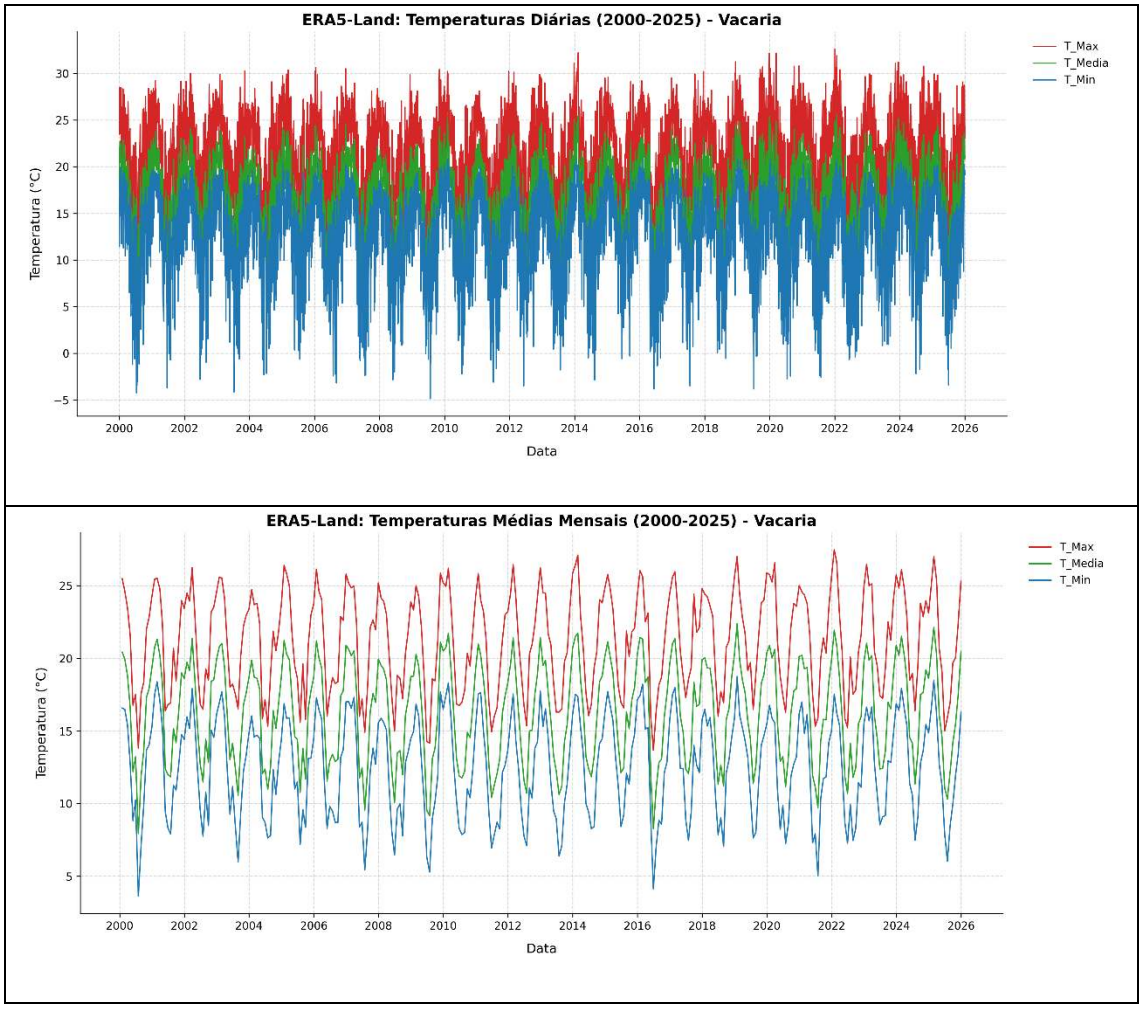
O Quadro 04 apresenta a análise das temperaturas da série histórica de 2000 a 2025 para o município de Vacaria. O conjunto de dados é o ERA5 Land Daily Aggregated, desenvolvido pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas a Médio Prazo. Os dados permitem identificar padrões climáticos e eventos extremos de frio registrados ao longo do período analisado. A avaliação das temperaturas mínimas, médias e máximas demonstra a variabilidade térmica característica da região dos Campos de Cima da Serra, especialmente em municípios de maior altitude, como Vacaria.

Os dados trazem a ocorrência constante de temperaturas negativas durante o inverno, associadas à atuação de massas de ar polar intensas. Esses episódios são mais frequentes nos meses de junho, julho e agosto, períodos em que há maior probabilidade de formação de geadas, fator crítico para a cafeicultura experimental conduzida na UERGS-Vacaria.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

Quadro 04: Análise das temperaturas da série histórica de Vacaria (2000–2025).



Fonte: Autores (2026).

Ao longo da série histórica analisada, observa-se que as temperaturas mínimas absolutas de Vacaria mantiveram comportamento relativamente estável, embora alguns anos tenham apresentado eventos extremos mais intensos. As temperaturas médias indicam forte sazonalidade climática, com invernos rigorosos e verões amenos, característica típica do clima subtropical de altitude dos Campos de Cima da Serra. As temperaturas máximas, mesmo durante episódios frios, permanecem positivas, demonstrando significativa amplitude térmica diária. Esse comportamento ocorre devido ao resfriamento intenso durante a madrugada e ao aquecimento ao longo do dia, principalmente em condições de céu limpo, padrão

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

diretamente relacionado aos danos por geada observados nos plantios experimentais.

A análise histórica também permite compreender possíveis tendências relacionadas à variabilidade climática regional. Em alguns períodos, verificam-se invernos menos rigorosos e aumento gradual das temperaturas médias, fenômeno que pode estar associado às mudanças climáticas globais e à alteração dos padrões atmosféricos, aspecto relevante para a avaliação de aptidão climática do café em longo prazo na região.

Na meteorologia, a ocorrência de geada é definida como a deposição de cristais de gelo sobre plantas e objetos expostos ao relento. Esse fenômeno ocorre quando a temperatura do ar atinge valores iguais ou inferiores a 0 °C, em presença de umidade suficiente na atmosfera (Pereira *et al,* 2002). No entanto, mesmo com a formação de gelo sobre as plantas pode não haver morte dos tecidos vegetais, por elas estarem em repouso vegetativo.

Na cultura do café, Caramori *et al.* (2001), verificaram que nas geadas de irradiação forma-se uma inversão térmica com gradiente médio em torno de 3 a 4°C entre o abrigo e a relva, e que os danos foliares ocorrem com temperaturas entre -3 e -4°C, assim, esse limite inclui as geadas severas e severíssimas, que provocam maiores danos à cafeicultura.

No estudo de Caramori *et al.* (2021), para o Estado do Paraná, os autores ressaltam que a suscetibilidade das culturas agrícolas às geadas varia com a espécie, e com o estádio fenológico das plantas no momento da ocorrência, além disso as tecnologias de previsão desses fenômenos aumentou consideravelmente nos últimos anos, com o uso de satélites e modelos de previsão.

Para a cultura do café, Caramori *et al.* (2021), considera que -2ºC seja a temperatura crítica mínima abaixo da qual se iniciam os danos nas plantas de espécies menos resistentes. Para as espécies mais resistentes, como o cafeeiro, o limite é de -4ºC. Os danos serão mais graves e extensos quanto maior for a queda de temperatura abaixo desse limite.

Junges e Fontana (2009) verificaram que no RS a principal causa de quebra de safra das culturas de cereais de inverno está associada aos eventos

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

meteorológicos, especialmente à ocorrência de geadas no período de florescimento das cultivares, com temperaturas mínimas do ar próximas ou inferiores a -2ºC.

Conforme o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 2024), os eventos de desastres relacionados a geadas no RS ocorreram, principalmente, no mês de setembro. No estudo realizado entre 1991 e 2024, foram registradas 177 ocorrências de desastres por geadas, sendo o Rio Grande do Sul responsável por 14. O Estado ficou atrás do Mato Grosso do Sul, Santa Catarina e Minas Gerais. O mês que concentrou a maioria das ocorrências de desastres por geadas no Rio Grande do Sul foi setembro, seguido por junho. Por sua vez, essas ocorrências se deram, principalmente, no ano de 2012, seguido por 2006.

Para Tazzo *et al.* (2024), no RS o final do outono (maio) e o início da primavera (setembro) também devem ser considerados períodos críticos para ocorrência deste evento adverso à agricultura: geadas precoces (no outono) e tardias (na primavera), mesmo ocorrendo com menor frequência, podem causar perdas na produção agropecuária. Para os autores na Serra Gaúcha, a geada provavelmente se deve pela maior altitude desses municípios, uma vez que a maior altitude favorece a perda de radiação noturna e, consequentemente, a redução das temperaturas mínimas noturnas.

Embora o Rio Grande do Sul não seja um tradicional produtor de café em comparação a outros estados brasileiros, experiências conduzidas em pequenas propriedades de agricultura familiar, como no município de Pinto Bandeira / RS, com cerca de 1.000 plantas e produção diversificada com mel, têm demonstrado resultados promissores quanto ao desempenho da cultura em solo gaúcho, com comercialização de café especial e derivados em feiras locais e venda direta ao consumidor (Righi *et al.*, 2025).

A altitude da lavoura do produtor está em aproximadamente 140 metros acima do nível do mar, com declividade média baixa, em torno de 2 a 5%, além disso está às margens do Rio das Antas. O relevo dessa região, é caracterizado por montanhas e vales em decorrência de sua localização entre os rios Burati e das Antas, favorece a produção de café, uma vez que as geadas são menos intensas e

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

os nevoeiros atuam como barreira natural, reduzindo a formação de cristais de gelo no solo (Righi *et al*., 2025).

Esse fenômeno é explicado por Heldwein e Medeiros (2008), como a não formação de geadas radiativas, que são causadas pelo resfriamento local do ar em consequência do acentuado resfriamento do solo e dos vegetais, principalmente na superfície mais exposta a céu aberto, pelo processo de radiação durante a noite. Elas se destacam principalmente quando ocorrem somente em noites calmas e límpidas ou apenas parcialmente nubladas, assim com a formação de nevoeiros não ocorre danos severos nas plantas.

Para Machado *et al.* (2020), os sistemas agroflorestais (SAF) representam uma alternativa sustentável ao monocultivo de café a pleno sol, proporcionando benefícios como redução de pragas e doenças, maior uniformidade na maturação dos frutos e melhor conservação de solo e água. Além disso, o consórcio com espécies arbóreas contribui para amenizar extremos climáticos (geadas, ventos e secas), reduzir plantas daninhas, favorecer a ciclagem de nutrientes e gerar renda adicional ao produtor, tornando-se uma estratégia promissora do ponto de vista econômico e ambiental.

No estudo de Perdoná, Soratto e Esperancini (2015), foi avaliado o desempenho produtivo e econômico do consórcio entre cafeeiro arábica e nogueira-macadâmia, em condições de sequeiro e irrigação por gotejamento, considerando diferentes cenários de preço do café. Os resultados indicaram que a irrigação e o cultivo consorciado aumentam a produtividade e a eficiência do uso da terra, superando os sistemas solteiros em sequeiro e equiparando-se ao café irrigado.

O Quadro 05 apresenta o comparativo de desenvolvimento em altura das mudas de café por variedade ao longo do período experimental (setembro de 2025 a março de 2026). O *Coffea canephora* (Conilon) apresentou o maior crescimento, atingindo cerca de 50 cm em março de 2026. A cultivar Mundo Novo enxertada e as mudas de *Coffea arabica* da segunda leva apresentaram crescimento intermediário, em torno de 25 cm, enquanto as mudas do primeiro plantio tiveram menor desenvolvimento em razão dos danos causados pela geada após o plantio.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

Também foi observado que a posição das plantas em relação à incidência de luz e sombreamento influenciou o crescimento individual, reforçando a importância da escolha do material genético e do manejo adequado para o cultivo de café em regiões de altitude.

Quadro 05: Comparativo de desenvolvimento em altura das mudas de café por variedade (setembro/2025 – março/2026).

Variedade	Data de plantio	Situação em nov./2025	Altura em mar./2026	Desempenho
Coffea arabica (1ª leva)	26/set/2025	Danos por geada; plantas em recuperação	Sem crescimento expressivo	Inferior
Coffea canephora (Conilon)	09/out/2025	Bom estabelecimento e vigor vegetativo	~50 cm	Superior
C. arabica Mundo Novo enxertada	09/out/2025	Bom estabelecimento e desenvolvimento inicial	~25 cm	Intermediário
Coffea arabica (2ª leva, não enxertada)	05/nov/2025	Recém-implantada (15–17 cm)	~25 cm	Intermediário

Fonte: Autores (2026). Baseado em Relatório de Desenvolvimento de Mudas de Café (18/03/2026).
Nota: alturas em março/2026 são estimativas registradas em campo; desempenho relativo entre variedades conforme avaliação de crescimento.

A partir de maio de 2026, iniciou-se uma nova etapa do experimento com a realização da primeira poda drástica das plantas. Essa prática teve como objetivo estimular a emissão de novos ramos plagiotrópicos próximos à base do caule, favorecendo a formação da arquitetura produtiva (Quadro 06).

De acordo com Sakiyama *et al.* (2017), o cafeeiro apresenta um caule de crescimento ortotrópico, responsável pelo desenvolvimento vertical da planta, e ramos plagiotrópicos, nos quais se formam as gemas florais e, posteriormente, os frutos. Dessa forma, o número e o vigor dos ramos plagiotrópicos estão diretamente relacionados ao potencial produtivo do cafeeiro, uma vez que constituem a principal estrutura responsável pela frutificação.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

Quadro 06: Atividades e análises realizadas na área experimental a partir de maio/2026.

 Primeira poda — Poda drástica Maio/2026	 Colônia de pulgões identificada em uma planta Maio/2026
 Sintomas de clorose foliar Maio/2026	 Cobertura das plantas de café com lona preta para proteção contra geadas Usadas a partir de Maio/2026

Fonte: Autores (2026).

A partir de maio de 2026, também foi iniciada a fertirrigação com ureia, utilizando-se 10 g por planta a cada cinco dias, visando fornecer nitrogênio de forma gradual e reduzir perdas por volatilização e lixiviação. Paralelamente,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

realizou-se a aplicação de fósforo na dose de 25 kg/ha, também em intervalos de cinco dias, para favorecer o desenvolvimento radicular e o crescimento das plantas.

Durante o monitoramento, foi registrada a ocorrência de pulgões em uma das mudas. O controle foi realizado com solução de água, detergente neutro e açúcar, aplicada diretamente sobre a infestação, mostrando-se uma alternativa simples e compatível com o manejo integrado de pragas em pequenas áreas experimentais.

Também foram observados sintomas de clorose foliar em algumas plantas, provavelmente associados à deficiência de nitrogênio, ferro ou magnésio, além do estresse causado pelas baixas temperaturas registradas durante o inverno.

Como medida de proteção contra geadas, as mudas passaram a ser cobertas com lona preta nos dias com previsão de frio intenso. A cobertura reduz a perda de calor durante a noite e ameniza os danos provocados pelas geadas, sendo retirada nas primeiras horas da manhã para evitar excesso de calor e umidade.

4. Considerações Finais

Os resultados obtidos demonstram que o cultivo experimental de cafeeiros em Vacaria (RS) apresenta potencial de desenvolvimento, desde que sejam adotadas estratégias de manejo adaptadas às condições climáticas da região. O experimento mostrou que os principais fatores limitantes são os extremos climáticos, especialmente a elevada radiação solar durante o verão e a ocorrência de geadas severas no inverno, que provocaram perdas totais no primeiro e no segundo plantios.

A adoção de práticas como o sombreamento das mudas, irrigação, fertirrigação, proteção contra geadas e manejo fitossanitário contribuiu para o melhor estabelecimento do terceiro plantio, demonstrando que técnicas adequadas podem aumentar a capacidade de adaptação da cultura em regiões de altitude. Entre os materiais avaliados, o *Coffea canephora* (Conilon) apresentou o melhor

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

desenvolvimento vegetativo, enquanto as mudas de *Coffea arabica* mostraram maior sensibilidade aos eventos de frio intenso.

Os principais desafios encontrados durante a condução do experimento foram a elevada variabilidade climática, com sucessivos episódios de foto estresse e geadas, a necessidade de reimplantação das áreas experimentais, a adaptação das cultivares às condições edafoclimáticas dos Campos de Cima da Serra e a definição de estratégias eficientes de proteção das plantas. Também foi constatada a influência do sombreamento e da posição das mudas na área experimental sobre o desenvolvimento vegetativo, indicando a importância do manejo do microclima para o sucesso da cultura.

Por se tratar de um experimento em fase inicial, recomenda-se a continuidade do monitoramento das plantas até a entrada em produção, permitindo avaliar o comportamento fenológico, a produtividade, a qualidade dos grãos e a viabilidade econômica das diferentes cultivares. Estudos futuros também deverão investigar sistemas agroflorestais, quebra-ventos, diferentes níveis de sombreamento e materiais genéticos mais tolerantes ao frio, visando consolidar protocolos de manejo para a cafeicultura em regiões de altitude do Rio Grande do Sul.

Referências

ANGNES, G.; *et al*. Energy Efficiency of Variable Rate Fertilizer Application in Coffee Production in Brazil. **AgriEngineering**. 3(4):815-826. 2021. https://doi.org/10.3390/agriengineering3040051

BSCA - Associação Brasileira de Cafés Especiais. **Origens de Café no Brasil**. 2023, atualizado em 2024. Disponível em: https://www.bsca.com.br/page/regioes. Acesso em: 17 mar. 2025.

CARAMORI, P. H.; *et al.* Contribuições das pesquisas agrometeorológicas do IAPAR. **Agrometeoros**, 29. 2021. https://doi.org/10.31062/agrom.v29.e026924

CARAMORI, P.; *et al*. **Métodos de proteção contra geadas em cafezais em formação**. Embrapa, 2016. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/. Acesso em: 12 nov. 2025.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

CARAMORI, P. H.; *et al*. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do café (*Coffea arabica* L.) no Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.486-494, 2001.

CARDUCCI, C. E.; *et al*. Soil Health under Arabica Coffee Plantations in the Cerrado Biome. In: MENDES, Ieda Carvalho; CHERUBIN, Maurício Roberto. **Soil Health and Sustainable Agriculture in Brazil.** Soil Health Series: Volume 3, 2024. https://doi.org/10.1002/9780891187448.ch6

DAMATTA, F. M.; *et al*. Why could the coffee crop endure climate change and global warming to a greater extent than previously estimated. **Climatic Change**, v.152, p.167-178, 2019. https://doi.org/10.1007/s10584-018-2346-4

DELIZA, R. **Café**. Embrapa - Agroindústria de Alimentos. 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/grupos-de-alimentos/cafe. Acesso em: 17 mar. 2025.

GOMES, L. C.; *et al*. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: a spatially explicit assessment in Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.294, p.106858, 2020. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106858

HELDWEIN, A. B.; MEDEIROS, S. P. **Agricultura Familiar e Sustentabilidade:** Agroclimatologia. Repositório da UFSM. 2008. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/16158/Curso_Agric-Famil-Sustent_Agroclimatologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 26 set. 2025.

JUNGES A. H.; FONTANA, D. C. Avaliação do desenvolvimento das culturas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul por meio de perfis temporais do índice de vegetação por diferença normalizada. **Ciência Rural**, v. 39, p.1-15, 2009. https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000114

KOH, I.; *et al.* Climate risks to Brazilian coffee production. **Environ. Res. Lett.**, 15 104015. 2020. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba471

LIMA, E. A.; *et al*. The multi-resistant reaction of drought- tolerant coffee 'conilon clone 14' to Meloidogyne spp. and late hypersensitive-like Coffea canephora. **Phytopathology**, v.105, p.805-814, 2015. https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-14-0232-R

MACHADO, A. H. R.; *et al*. Coffee Culture (*Coffea arabica*) in the Agroforestry System. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, 3(3), 1357–1369. 2020. https://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-053

MENDONÇA, R.; *et al*. Abordagem sobre a bienalidade de produção em plantas de café. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7 n. 13 2011. Disponível em:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4087. Acesso em: 17 mar. 2025.

MORAIS, H.; *et al*. **Temperaturas de cafeeiros e métodos de proteção contra geadas**. Vitória – ES, outubro de 2019. Disponível em: www.sbicafe.ufv.br. Acesso em: 13 nov. 2025.

PATIL, S.; *et al*. Mitigating climate risks in coffee production through agroforestry: global evidence from a systematic review and meta-analysis. **Frontiers in Climate**, v. 7, p. 1-18, 2025. https://doi.org/10.3389/fclim.2025.1699037

PERDONÁ, M. J.; SORATTO, R. P.; ESPERANCINI, M. S. T. Productive and economic performance of Arabica coffee and macadamia nut intercropping. **Pesq. agropec. bras**., Brasília, v.50, n.1, p.12-23, jan. 2015. https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000100002

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478p.

PERUTA, R. D.; *et al*. Projecting trends of arabica coffee yield under climate change: A process-based modelling study at continental scale. **Agricultural Systems**, 227, 104353, 2025. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2025.104353

PIEPHO, H. P.; WILLIAMS, E. R.; FLECK, M. A note on the analysis of designed experiments with complex treatment structure. **HortScience**, 41(2), 446–452, 2006.

RIGHI, E.; *et al.* A cultura do café no Estado do Rio Grande do Sul como opção de diversificação da agricultura familiar. **Revista Em Agronegócio E Meio Ambiente**, 18, e13577. 2025. https://doi.org/10.17765/2176-9168.2025v18e13577

RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Geada. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. 8ª ed. Data de atualização: novembro de 2024. Disponível em: https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/geadas. Acesso em: 26 set. 2025.

RODA, N.; *et al*. Manejo Sustentável da Produção de Café no Cerrado Mineiro: A Contribuição do Caulim para Cultivos Comerciais. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista,** 19(5). 2023. https://doi.org/10.17271/1980082719520234716

RODRIGUES, W. P.; *et al*. Long-term elevated air [CO 2] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical Coffea
arabica and C. canephora species. **Global Change Biology**, 22(1):415-431, 2016.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 17/06/2026 - **Accepted:** 20/07/2026
Vol: 13.16
DOI: 10.66104/mjm74h84
Pages: 1-26

SANTOS, L. A.; *et al*. Escaldadura no cafeeiro: face de exposição e dano fotossintético. **Tecnol. & Ciên. Agropec**., João Pessoa, v.10, n.1, p.13-17, mar. 2016.

SANTOS, V. P.; RIBEIRO, P. C. C.; RODRIGUES, L. B. Sustainability assessment of coffee production in Brazil. **Environ Sci Pollut Res,** 30, 11099–11118, 2023. https://doi.org/10.1007/s11356-022-22922-z

SAKIYAMA, N. S. *et al*. Triple plagiotropic branch in coffee: a new promising mutant? **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 4, p. 408–411, 2017. https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n4n61.

TAZZO, I. F.; *et al*. Distribuição espacial e temporal de geadas no Rio Grande do Sul entre 2003-2018. **Caminhos de Geografia.** Uberlândia, v. 25, n. 101, Outubro/2024, p. 252–263, 2024. https://doi.org/10.14393/RCG2510171617

TORRES, G. A. L.; *et al*. *Coffea arabica* L.: History, phenology and climatic aptitude of the state of São Paulo, Brazil. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 88, e0602020, 2021. https://doi.org/10.1590/1808-1657000602020

VENANCIO, L. P.; *et al*. Impact of drought associated with high temperatures on Coffea canephora plantations: a case study in Espírito Santo State, Brazil. **Scientific Reports**, 10(1):19719, 2020.

VILAS-BOAS, T.; *et al.* Does acclimation in distinct light conditions determine differences in the photosynthetic heat tolerance of coffee plants?. **Plant Biology**, 25:1101-1108, 2023.

VOLSI B.; *et al*. The dynamics of coffee production in Brazil. **PLoS ONE.** 14(7): e0219742. 2019. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219742.

ZANETTI, W. A. L.; *et al.* Analysis of the Technological Evolution of Coffee Production in Brazil. **Journal of Agricultural Studies**.Vol. 9, No. 3, 2021. https://doi.org/10.5296/jas.v9i3.18971

WANG, X.; *et al.* Chill topped historical Arabica coffee yield loss among climate stressors in Yunnan, China, followed by drought. **Nat. Hazards.** 2, 32, 2025. https://doi.org/10.1038/s44304-025-00092-5