



Risco potencial de estresse térmico calórico para bovinos leiteiros nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul

Ivonete Fatima Tazzo
Adriana Kroef Tarouco
Loana Silveira Cardoso
Amanda Heemann Junges
Paulo Henrique Allem Junior

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA,
PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO
DEPARTAMENTO DE DIAGNÓSTICO E PESQUISA
AGROPECUÁRIA

CIRCULAR:
divulgação técnica

RISCO POTENCIAL DE ESTRESSE TÉRMICO
CALÓRICO PARA BOVINOS LEITEIROS NAS
REGIÕES ECOCLIMÁTICAS DO RIO GRANDE DO
SUL

Ivonete Fatima Tazzo
Adriana Kroef Tarouco
Loana Silveira Cardoso
Amanda Heemann Junges
Paulo Henrique Allem Junior

Porto Alegre, RS

2026

Governador do Estado do Rio Grande do Sul: Eduardo Figueiredo Cavalheiro Leite.

Secretário da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação: Márcio Madalena.

Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária

Rua Gonçalves Dias, 570 – Bairro Menino Deus

Porto Alegre | RS – CEP: 90130-060

Telefone: (51) 3288.8000

<https://www.agricultura.rs.gov.br/ddpa>

Diretor: Caio Fábio Stoffel Efrom

Comissão Editorial:

Loana Silveira Cardoso; Larissa Bueno Ambrosini; Lia Rosane Rodrigues; Bruno Brito Lisboa; Raquel Paz da Silva; Flávio Nunes.

Arte: Rodrigo Nolte Martins

Catálogo e normalização: Flávio Nunes

R595 Risco potencial de estresse térmico calórico para bovinos leiteiros nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul / Ivonete Fatima Tazzo ... [et al.]. – Porto Alegre : SEAPI/DDPA, 2026.

53 p. : il. – (Circular : divulgação técnica, ISSN 2675-1348 ; 33)

Continuação de: Circular técnica, 1995-2016.

1. Bovinocultura de leite. 2. Desconforto térmico. 3. Regionalização. 4. Índice de temperatura e umidade. I. Tazzo, Ivonete Fatima. II. Série.

CDU 632.2(816.5)

REFERÊNCIA

TAZZO, Ivonete Fatima *et al.* **Risco potencial de estresse térmico calórico para bovinos leiteiros nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: SEAPI/DDPA, 2026. 53 p. (Circular: divulgação técnica, 33).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 METODOLOGIA.....	13
2.1. Caracterização	13
2.2. Índice de Temperatura e Umidade – ITU	14
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
REFERÊNCIAS	42
ANEXOS	48

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribuição das estações meteorológicas empregadas neste estudo em regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul.....14
- Figura 2.** Espacialização do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) médio na primavera de 2022 (A), 2023 (B) e 2024 (C), no Rio Grande do Sul.....18
- Figura 3.** Espacialização do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) máximo absoluto na primavera de 2022 (A), 2023 (B) e 2024 (C), no Rio Grande do Sul.23
- Figura 4.** Espacialização do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) médio no verão de 2022/2023 (A), 2023/2024 (B) e 2024/2025 (C), no Rio Grande do Sul.32
- Figura 5.** Espacialização do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) máximo absoluto no verão de 2022/2023 (A), 2023/2024 (B) e 2024/2025 (C), no Rio Grande do Sul.....39

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Valores anuais médios e máximos do Índice de Temperatura do ar e Umidade relativa do ar (ITU), nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, na primavera de 2022, 2023 e 2024.....17
- Tabela 2.** Período de ocorrência anual (horas) expresso em percentual de quatro classificações do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, na primavera de 2022, 2023 e 2024.25
- Tabela 3.** Valores anuais médios e máximos absolutos do Índice de Temperatura do ar e Umidade relativa do ar (ITU) nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, no verão de 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.31
- Tabela 4.** Período de ocorrência anual (horas) expresso em percentual de quatro classificações do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, no verão de 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.....37

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Número de estações meteorológicas, número total médio de horas avaliadas por trimestre e média mensal por município para estabelecer a duração de situações de conforto/desconforto térmico nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul na primavera dos anos 2022, 2023 e 2024. ..48

Anexo 2. Número de estações meteorológicas, Número total médio de horas avaliadas por trimestre e média mensal por município para estabelecer a duração de situações de conforto/desconforto térmico nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul no verão dos anos 2022/23, 2023/24 e 2024/25.....50

Anexo 3. Valores anuais médios de Temperatura média do ar (Temp, °C) e Umidade relativa média do ar (UR, %) nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, na primavera de 2022, 2023 e 2024, e no verão de 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.....52



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA,
PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO

CIRCULAR: divulgação técnica

RISCO POTENCIAL DE ESTRESSE TÉRMICO CALÓRICO PARA BOVINOS LEITEIROS NAS REGIÕES ECOCLIMÁTICAS DO RIO GRANDE DO SUL

Ivonete Fatima Tazzo ^[1], Adriana Kroef Tarouco ^[2], Loana
Silveira Cardoso ^[3], Amanda Heemann Junges ^[4], Paulo
Henrique Allem Junior ^[5]

[1] Engenheira Agrônoma, Dr^a. em Produção Vegetal/ Agrometeorologia, Pesquisadora do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: ivonete-tazzo@agricultura.rs.gov.br

[2] Médica Veterinária, Dr^a. em Ciências Veterinárias/Reprodução Animal, Pesquisadora do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: adriana-tarouco@agricultura.rs.gov.br.

[3] Engenheira Agrônoma, Dr^a. em Fitotecnia/Agrometeorologia, Pesquisadora do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: loana-cardoso@agricultura.rs.gov.br.

[4] Engenheira Agrônoma, Dr^a. em Fitotecnia/Agrometeorologia, Pesquisadora do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), Veranópolis, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: amanda-junges@agricultura.rs.gov.br.

[5] Bolsista Iniciação Científica PROBIC/FAPERGS-DDPA/SEAPI. E-mail: paulo.alle@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A produção de leite no Brasil tem se mantido estável nos últimos anos (35,7 bilhões de litros em 2024) e é a terceira maior no contexto mundial (IBGE, 2024). O Rio Grande do Sul, por sua vez, é o terceiro maior produtor do País, com aproximadamente quatro bilhões de litros produzidos anualmente. Embora a atividade leiteira ocorra nas diversas regiões do estado, o Noroeste gaúcho se destaca tanto por concentrar o maior número de produtores, quanto pela elevada produção, com 2,97 bilhões de litros anuais, ou seja, 8,41 % da produção nacional (IBGE, 2024). Esta região, no entanto, tem registrado elevadas temperaturas do ar, principalmente na primavera e no verão, o que pode vir a comprometer a produção de leite pelo risco potencial de estresse térmico nos animais. O estresse térmico causa queda na produtividade e prejuízos econômicos à cadeia produtiva (Tarouco *et al.*, 2022; 2023, 2024; Tazzo *et al.*, 2023, 2024, 2025).

Um dos grandes desafios da pecuária leiteira é a adaptação da criação de animais produtivos frente às variações ambientais. Os efeitos das mudanças ou tendências climáticas, associados ao aumento gradual das temperaturas do ar — em grande parte decorrente do aquecimento global associado a causas antropogênicas — têm se tornado mais evidente. Isso se reflete na intensificação de eventos extremos, como ondas de calor, tempestades, inundações e secas (Berlato; Cordeiro, 2017; Cai *et al.*, 2023; Marengo *et al.* 2024; Collischonn *et al.*, 2025).

Conforme relatório da Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization, 2025), o ano de 2024 foi o mais quente já registrado, com aumento médio da

temperatura do ar global de aproximadamente 1,55°C, em relação ao período pré-industrial (média de 1850-1900). De forma semelhante, o Relatório Climático Anual da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) destaca que, os anos, 2022, 2023 e 2025 também figuram entre os mais quentes desde o início dos registros (1850). Em uma série histórica de 175 anos, observou-se que os dez anos mais quentes ocorreram na última década (2015-2024) (National Centers for Environmental Information, 2025), evidenciando o acelerado aumento das temperaturas globais. Esse cenário de aumento das temperaturas do ar em caráter global também se reflete nas tendências observadas no Brasil e no Rio Grande do Sul.

No Brasil, verificou-se aumento das temperaturas médias do ar na série 1961-2024, que pode estar associada às mudanças e tendências climáticas decorrentes da elevação da temperatura global e de mudanças ambientais locais. Neste sentido, em 2023 e 2024 foram registradas as maiores temperaturas do ar, com elevação dos desvios positivos em relação à Normal Climatológica Padrão 1990 – 2020 (INMET, 2025).

No Rio Grande do Sul, os estudos indicaram aumento da temperatura média do ar, em geral, atribuído à elevação das temperaturas mínimas (Berlato; Cordeiro, 2017). Os autores ressaltaram que, tanto a temperatura mínima como a temperatura média, tiveram aumentos mais acentuados nos últimos trinta anos da série estudada (1980-2009) (Berlato; Cordeiro, 2017). Apesar da associação do aumento das temperaturas médias às mínimas, também é importante destacar que, em termos de temperaturas máximas, a ocorrência de temperaturas próximas de 40°C, por uma sequência de dias (onda de calor) tem se tornado mais

comum nos registros oficiais do Rio Grande do Sul. Este valor foi atingido 226 vezes em estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) desde 1961, sendo que o período entre 1º de janeiro de 2022 e 20 de março de 2025 concentrou 53,5 % dos casos — ou 121 medições (Rocha; Coimbra, 2025).

O estado do Rio Grande do Sul apresenta diferenças climáticas entre regiões, causadas principalmente pelo relevo e pela amplitude da latitude/longitude de seu território. As Regiões Ecoclimáticas foram estabelecidas para identificar características climáticas regionais distintas, principalmente em relação ao regime térmico e pluvial, geomorfologia e uso dos solos, em nível de microclimas (Maluf; Caiaffo, 2001). Em função destas variações, os sistemas de produção vegetal ou animal apresentam respostas diferenciadas, o que pode resultar em aumentos ou reduções diretas na produtividade das culturas agrícolas ou dos rebanhos.

A produção leiteira é particularmente sensível às variações ambientais, devido às altas taxas e demandas metabólicas das vacas, resultantes do elevado consumo de energia necessário para produção de leite e desenvolvimento dos fetos, o que torna as fêmeas mais vulneráveis ao acúmulo de calor corporal. O estresse calórico acontece quando as altas temperaturas do ar, aliadas à alta produção de calor metabólico, resultam em calor corporal excedente que o animal não consegue eliminar para o ambiente (Azevêdo; Alves, 2009). Essa condição depende, principalmente, da amplitude térmica diária, ou seja, da variação da temperatura do ar durante o dia e a noite. Se a temperatura durante a noite não for inferior a 21°C por três a seis horas, o animal não tem capacidade suficiente de perder o calor adquirido durante o

dia anterior (Silanikove, 2000), entrando em estresse térmico calórico.

No metabolismo animal, a homeotermia — ou seja, a manutenção da temperatura corporal — é priorizada em relação às funções produtivas. Quando o animal é submetido ao estresse calórico, parte da energia que seria destinada à produção de leite e à reprodução é desviada para manter a temperatura corporal estável, reduzindo assim o desempenho produtivo (Silva Filho, 2013).

O relatório socioeconômico da cadeia produtiva do leite no Rio Grande do Sul de 2023 (EMATER-RS, 2025) aponta que o sistema produtivo majoritário no estado é à base de pasto com suplementação (84 %). Nesse caso, os animais são mantidos desabrigados na maior parte do tempo, de modo que o ambiente e, neste, incluem-se as condições meteorológicas, exercem papel fundamental na determinação da condição de conforto térmico.

Dentre as variáveis meteorológicas, a temperatura do ar atua de forma complexa nos sistemas de produção de animais de interesse zootécnico. Portanto, é o principal parâmetro agrometeorológico utilizado para definir o risco de estresse térmico. Outros parâmetros que influenciam a carga térmica total incluem radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, que afetam a transferência de calor radiativo e a eficiência do resfriamento evaporativo, sendo, portanto, variáveis importantes na avaliação do risco de situações de estresse térmico (Collier *et al.*, 2019).

Vários índices foram desenvolvidos para avaliar as variáveis que impactam o balanço calórico dos bovinos. Um índice amplamente utilizado é o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), que combina efeitos associados de temperatura e umidade relativa do ar. O ITU foi adaptado do

Índice de Desconforto para humanos desenvolvido por Thom (1959), e, mesmo com reconhecidas limitações (pois não leva em consideração a velocidade do ar e a radiação), é amplamente utilizado para avaliar condições ambientais adversas, uma vez que a temperatura e umidade relativa do ar influenciam grande parte dos impactos de troca de calor e, portanto, representam adequadamente o impacto geral sobre os animais (Hahn, 1995; Brown-Brandl *et al.*, 2005; Hahn *et al.*, 2009; Tarouco *et al.*, 2025). Justifica-se também a utilização do ITU pela maior facilidade de registro/coleta/acesso aos dados de temperatura e umidade relativa do ar, de modo geral, encontrados em todos os modelos de estações meteorológicas atualmente disponíveis, comparativamente aos de radiação solar e velocidade do vento.

Constata-se que as condições ambientais termicamente adversas desafiam a produtividade dos rebanhos leiteiros, de modo que a identificação de regiões mais adequadas para produção, criação e seleção de animais adaptados para enfrentar situações de estresse térmico calórico é um importante recurso zootécnico. Desta forma, identificar quais regiões ecoclimáticas do estado oferecem maiores riscos ao estresse térmico calórico nas estações mais quentes do ano (primavera e verão) é de extrema importância para orientar os produtores rurais na adoção de estratégias de manejo e cuidados com o bem-estar dos animais, para reduzir perdas de produção no Rio Grande do Sul e minimizar os prejuízos socioeconômicos à cadeia do leite.

O objetivo deste trabalho foi identificar as regiões ecoclimáticas do Estado do Rio Grande do Sul com maior potencial de risco ao estresse térmico calórico em bovinos

leiteiros, utilizando o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) na primavera-verão de 2022 a 2025.

2 METODOLOGIA

2.1. Caracterização

As condições meteorológicas analisadas neste estudo — temperatura do ar e umidade relativa do ar — foram compiladas a partir dos dados de 29 estações meteorológicas convencionais e automáticas do INMET e do Sistema de Monitoramento e Alertas Agroclimáticos (SIMAGRO/RS) da Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (SEAPI), distribuídas em 10 regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul (Figura 1): Planalto Médio (Passo Fundo, Ibirubá, Getúlio Vargas); Serra do Sudeste (Caçapava do Sul, Encruzilhada do Sul, Pinheiro Machado); Serra do Nordeste (Bento Gonçalves, Vacaria, Veranópolis); Encosta Inferior da Serra (Teutônia, Sobradinho); Alto e Médio Vale do Uruguai (Frederico Westphalen, Santa Rosa, Porto Vera Cruz); Baixo Vale do Uruguai (Maçambará, Itaqui, São Borja); Depressão Central (Santa Maria, Campo Bom, Porto Alegre); Missioneira (Bossoroca, São Luiz Gonzaga, Santiago); Campanha (Alegrete, Uruguaiana, Bagé) e Grande Lagos (Capão do Leão, Camaquã, Jaguarão).

O número de estações meteorológicas/municípios, considerados em cada região ecoclimática, variou de duas a três, de acordo com a disponibilidade de dados (Anexos I e II). O período avaliado foi a primavera dos anos 2022, 2023 e 2024; e os verões 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025. A delimitação climatológica estacional seguiu Berlato e Cordeiro (2017) e Junges (2018), sendo definida como trimestre:

primavera (setembro, outubro e novembro); e verão (dezembro, janeiro e fevereiro).



Figura 1. Distribuição das estações meteorológicas empregadas neste estudo em regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul.

Fonte: Adaptado de Maluf e Caiaffo, 2001.

2.2. Índice de Temperatura e Umidade – ITU

As situações de conforto/desconforto térmico calórico dos bovinos leiteiros ocorridas na primavera e no verão dos anos avaliados foram identificadas por meio do Índice de Temperatura e Umidade (Thom, 1959), que considera os efeitos associados da temperatura e umidade relativa do ar.

Devido à variação das temperaturas do ar mínimas e máximas absolutas diárias observadas no Rio Grande do Sul

(elevada amplitude térmica diária), optou-se por calcular o ITU em base horária, garantindo maior precisão na avaliação das condições térmicas enfrentadas pelos bovinos leiteiros. Em seguida, calculou-se a média mensal desses valores para cada município (estação meteorológica) e, posteriormente, por região ecoclimática. Também foi considerado o valor máximo absoluto do índice (ITU máximo absoluto) para identificar possíveis situações extremas de estresse térmico calórico. Os resultados foram organizados e apresentados por região ecoclimática, estação do ano e ano avaliado.

O ITU foi calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{ITU} = T_m + (0,36 \cdot t_{po} + 41,5);$$

em que: T_m = temperatura do ar horária;

T_{po} = Temperatura do Ponto de Orvalho horária

$$T_{po} = ((UR/100)^{(1/8)} \cdot (112 + (0,9 \cdot T_m))) + (0,1 \cdot T_m) - 112$$

Além disso, avaliou-se a duração das situações de conforto térmico e/ou estresse calórico que foram registradas na primavera e no verão em cada região ecoclimática. Para tanto, contabilizaram-se as horas diárias e mensais, expressas em percentual, da ocorrência do Índice (ITU) em quatro classificações de níveis de estresse térmico: conforto térmico ($\text{ITU} \leq 71$); estresse leve a moderado ($71 < \text{ITU} \leq 79$); estresse severo ($79 < \text{ITU} \leq 84$); estresse crítico ($\text{ITU} > 84$). As classificações dos níveis de estresse térmico foram adaptadas de Rosemberg, Biad e Verns (1983) para melhor refletir a relação entre as condições meteorológicas e o conforto térmico dos animais. Da mesma forma que o ITU médio e máximo absoluto, os resultados da duração das situações de estresse térmico calórico foram organizados e apresentados por região ecoclimática, estação e ano.

O número de estações meteorológicas/municípios distribuídas no estado (Figura 1) em cada período de

avaliação, os valores totais e médios de horas consideradas para se estabelecer os percentuais de registros nas faixas de conforto e estresse térmico calórico na primavera e no verão nas 10 regiões ecoclimáticas em 2022, 2023 e 2024, constam nos Anexos I e II. A diferença em termos de número de estações meteorológicas avaliadas nas estações e anos deste trabalho decorreu, principalmente, de falhas nos registros dos bancos de dados (interrupções temporárias na coleta e/ou transmissão das informações), as quais não foram corrigidas ou preenchidas neste estudo.

Os mapas do Rio Grande do Sul demonstrando a espacialização do ITU nas regiões ecoclimáticas foram elaborados por meio da utilização do software ArcGIS 10.8.2.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) na primavera permaneceram abaixo do limite considerado indicativo de estresse térmico calórico ($ITU \geq 71$), logo, não apontando ocorrência de desconforto para bovinos leiteiros nas regiões ecoclimáticas (Tabela 1). Embora situações de estresse térmico não tenham sido registradas, observou-se que houve um aumento gradual do índice nos anos analisados: $63,0 \pm 1,17$ em 2022, $65,8 \pm 1,44$ em 2023 e $67,1 \pm 1,35$ em 2024 (Tabela 1).

Na Figura 2 (A, B e C) foi possível verificar elevações anuais do ITU médio, atingindo um maior número de regiões ecoclimáticas, com a progressão da série estudada, destacando-se a intensificação dos valores do índice na Depressão Central e no Baixo Vale do Uruguai. O comportamento do índice acompanhou os registros

progressivos de elevação das temperaturas médias durante a primavera nos anos avaliados, com maior variação regional nos anos 2023 e 2024. A umidade relativa do ar anual média também apresentou maior variação entre as regiões estudadas, conforme demonstrado no Anexo III.

Tabela 1. Valores anuais médios e máximos absolutos do Índice de Temperatura do ar e Umidade relativa do ar (ITU), nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, na primavera de 2022, 2023 e 2024.

Ano	2022		2023		2024	
Região	ITU médio	ITU máximo	ITU médio	ITU máximo	ITU médio	ITU máximo
Planalto Médio	61,6	76,2	65,3	80,4	66,9	80,7
Serra do Sudeste	61,6	75,4	63,2	78,1	64,8	76,5
Serra do Nordeste	60,6	74,5	63,9	78,2	64,0	76,9
Encosta Inferior da Serra	63,5	78,8	65,9	81,3	67,4	82,0
Vale do Uruguai	63,6	78,7	68,7	84,1	69,3	83,6
Baixo Vale do Uruguai	64,8	80	68,0	83,3	69,4	84,4
Depressão Central	64,9	78,9	66,4	81,7	67,8	83,0
Missioneira	64,0	78,5	67,2	82,8	68,2	82,8
Campanha	62,9	77,7	65,4	80,2	66,9	81,8
Grandes Lagos	62,6	76,8	64,0	79,1	66,0	80,6
Média geral	63,0	77,6	65,8	80,9	67,1	81,2
Desvio médio (±)	1,17	1,46	1,44	1,72	1,35	2,04

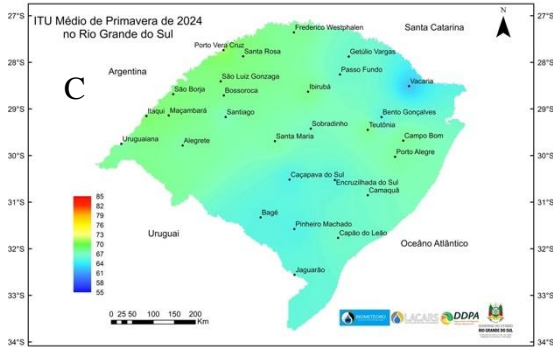
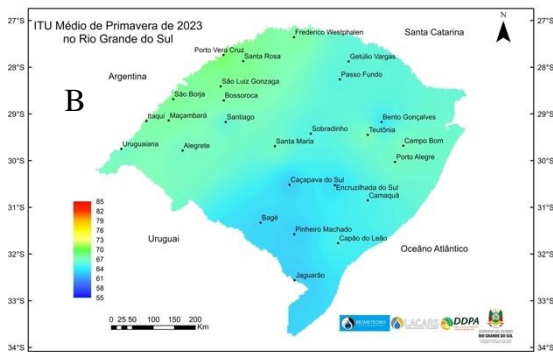
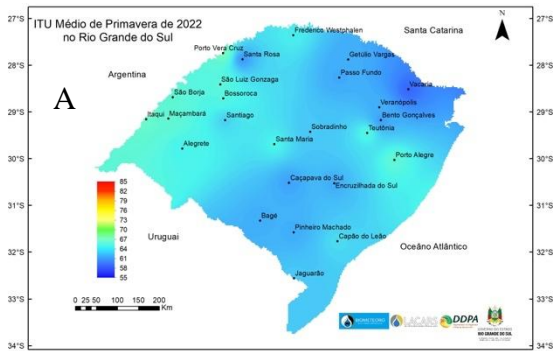


Figura 2. Espacialização do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) médio na primavera de 2022 (A), 2023 (B) e 2024 (C), no Rio Grande do Sul.

O aumento gradual do ITU médio pode estar associado à elevação da temperatura do ar registrada nos anos avaliados (Anexo III) e à ocorrência de ondas de calor (Junges *et al.* 2022), e vai de encontro com o relato da NOAA, no qual a série analisada correspondeu aos maiores registros de elevação das temperaturas do ar globais desde o ano de 1850 (National Centers for Environmental Information, 2025).

Ao analisar as regiões ecoclimáticas separadamente na primavera de 2022, notou-se que as menores médias do ITU médio foram registradas na Serra do Nordeste (60,6), na Serra do Sudeste e no Planalto Médio (61,6). Em contrapartida, os maiores valores foram observados na Depressão Central (64,9), no Baixo Vale do Uruguai (64,8) e na Região Missioneira (64,0) (Tabela 1). Esta primavera se caracterizou por temperaturas do ar abaixo da média no trimestre, principalmente as mínimas, e baixa umidade relativa do ar (Tarouco *et al.*, 2022). Por outro lado, os valores máximos absolutos atingidos pelo índice, indicaram riscos ao estresse térmico calórico para os bovinos em todas as regiões ecoclimáticas, que se elevaram com o avanço da série (Figura 3 A, B, C).

As médias gerais do ITU máximo absoluto da primavera foram de $77,5 \pm 1,46$ em 2022, sugerindo que o estresse térmico chegou a uma condição moderada, passando a $80,9 \pm 1,72$ em 2023 e $81,2 \pm 2,04$ em 2024, ambos dentro da faixa de classificação de estresse severo (Tabela 1).

Estes níveis de estresse térmico, moderado a severo, podem resultar em redução do consumo alimentar, queda na produção e na qualidade do leite e aumento da incidência de doenças nos animais. A elevação dos índices máximos absolutos na primavera nos anos reforça a necessidade de

monitoramento contínuo e adoção de estratégias de mitigação frente às variações meteorológicas registradas nesta estação de transição.

Assim como observado na avaliação do ITU médio, o valor máximo do índice (ITU máximo absoluto) na primavera de 2022, também aponta maior risco de estresse térmico severo na Depressão Central (79,9) e no Baixo Vale do Uruguai (80). Nas demais regiões ecoclimáticas, a condição de estresse calórico atingiu nível moderado, pois o máximo ITU registrado se situou acima de 75 e abaixo de 79, conforme os critérios estabelecidos para classificação do estresse térmico adotado neste estudo.

Na primavera de 2023, os valores médios do ITU sugeriram situações não estressantes termicamente nas regiões ecoclimáticas (média de $65,8 \pm 1,44$; Tabela 1). No entanto, superaram os de 2022, variando de 63,2 na Serra do Sudeste a 68,7 no Vale do Uruguai, indicando um aumento das temperaturas médias do ar neste período (Anexo III). No entanto, o ITU máximo da primavera em 2023, superou os valores do ano anterior (média de $80,9 \pm 1,72$), o que significou agravamento da situação máxima de estresse térmico, passando de moderada para severa. Nas regiões Serra do Sudeste e Nordeste, a condição moderada foi mantida (ITU máximo ≤ 79). Condição extrema de estresse calórico, com o ITU máximo atingindo valor acima de 84, foi registrada no Vale do Uruguai (84,1), e muito próximo, ocorrendo no Baixo Vale do Uruguai (83,3). Estes resultando indicaram estas duas regiões ecoclimáticas como de alto risco ao estresse calórico, o que demanda maior atenção ao conforto térmico dos animais durante a primavera.

Em 2024, o ITU médio da primavera, seguiu aumentando, mas ainda dentro do conforto térmico, oscilando

entre 64 na Serra do Nordeste e 69,3 no Baixo Vale do Uruguai. Os índices máximos indicaram níveis de estresse calórico severo ($79 < ITU \leq 84$) em sete das 10 regiões avaliadas (70 %), o que pode resultar em redução da produção de leite, aumento da incidência de doenças e necessidade de adoção de medidas de manejo específicas para garantir o bem-estar dos animais nestes locais. Níveis críticos foram registrados na Região Baixo Vale do Uruguai (84,4), e moderados nas Serras do Sudeste e Nordeste (76,5 e 76,9, respectivamente), possivelmente devido à maior altitude e conseqüente menores temperaturas máximas absolutas nestas regiões.

Os resultados indicaram que os maiores riscos potenciais de estresse térmico registrados na primavera foram no Vale do Uruguai em 2023 (ITU máximo = 84,1) e no Baixo Vale do Uruguai em 2024 (ITU máximo = 84,4) (Tabela 1). As condições térmicas classificadas como emergenciais observadas nessas regiões podem causar redução significativa da produção diária do leite, variando de 13,8% a 32%, conforme estimativas encontradas por Tarouco *et al.*, (2024). Além disso, afetam a qualidade do leite e há aumento da incidência de doenças metabólicas e infecciosas nos animais. Caso essas condições críticas de estresse térmico persistam, sem adoção de medidas de mitigação (como sombreamento natural ou artificial, ventilação, fornecimento de água fresca e ajustes no manejo alimentar), pode haver risco de óbito dos animais. Ressalta-se que o Vale do Uruguai compreende uma das regiões de maior produção de leite do Rio Grande do Sul (EMATER-RS, 2025), o que torna os impactos do estresse térmico observados especialmente preocupantes para a cadeia produtiva local.

Na Serra do Nordeste, onde também se concentra grande produção de leite, observaram-se índices médios e máximos absolutos menores na série estudada (por exemplo, ITU médio de 60,6 em 2022 e máximo de 76,9 em 2023, comparado com as outras regiões como Depressão Central, com ITU médio de 64,9 em 2022; e ITU médio de 68,7 e máximo absoluto de 84,1 no Baixo Vale do Uruguai em 2023), sugerindo menor risco potencial de estresse térmico calórico nesta região (Tabela 1).

Na Figura 3 (A, B e C), constam os valores médios do ITU máximo absoluto registrados nas regiões ecoclimáticas, que demonstraram a elevação dos riscos potenciais de estresse térmico calórico durante a primavera no Rio Grande do Sul nos anos avaliados. No Planalto Médio, por exemplo, o ITU atingiu valor máximo, que aumentou de 76,2 em 2022 para 80,7 em 2024 (variação de 4,5 unidades). De forma semelhante, no Vale do Uruguai, o índice passou de 78,7 em 2022 para 84,1 em 2023 (5,4 unidades), mantendo-se elevado em 2024 (83,6). Já no Baixo Vale do Uruguai, o índice máximo do ITU sempre foi superior a 80, atingindo o maior valor entre todas as regiões (84,4) em 2024, caracterizando esta região como de maior risco potencial de gerar estresse térmico nos animais durante a primavera.

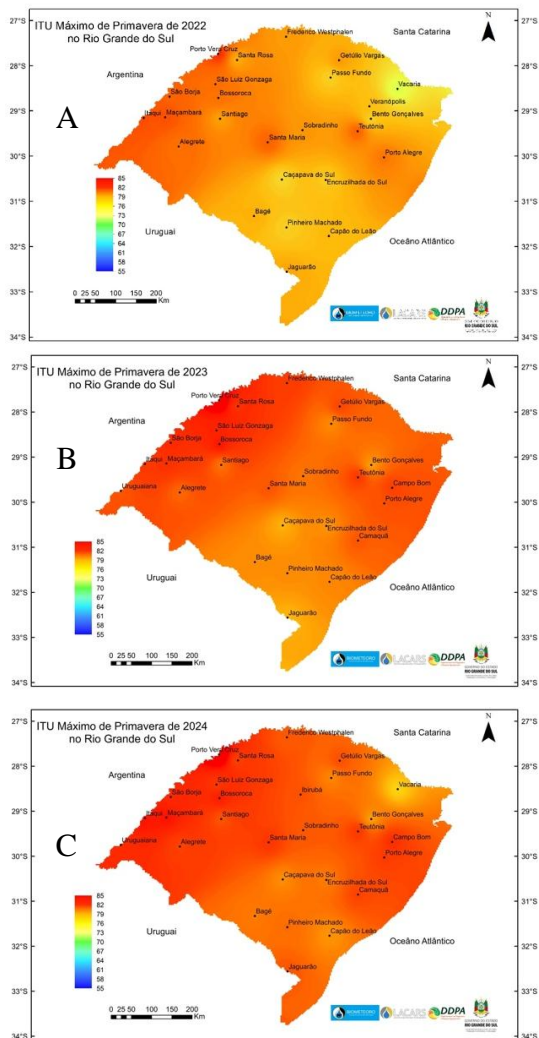


Figura 3. Espacialização do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) máximo absoluto na primavera de 2022 (A), 2023 (B) e 2024 (C), no Rio Grande do Sul.

Uma característica importante da primavera é a elevada amplitude térmica diária, ou seja, a diferença entre as temperaturas do ar mínimas e máximas. Na primavera de 2023, por exemplo, foram registradas amplitudes térmicas diárias de até 18°C em algumas regiões, aumentando o desafio para a adaptação dos animais. Portanto, para avaliar o risco potencial de estresse térmico calórico entre regiões ecolimáticas é importante considerar a duração da condição ambiental estressante. Por exemplo, mesmo que os índices máximos de estresse térmico sejam registrados por poucas horas, sua repetição durante vários dias, como nas ondas de calor, pode comprometer a saúde e o desempenho dos animais.

Em grande parte da primavera de 2022, os animais estiveram em condição de conforto térmico, com média de $88,3 \pm 4,1$ % das horas avaliadas (Tabela 2). Em quatro regiões (40 %), os percentuais de conforto térmico foram superiores a 90 % (Planalto Médio com 92,4 %, Serra do Sudeste com 92,8 %, Serra do Nordeste com 95,9 % e Grandes Lagos com 90 %). Portanto, nestas regiões, o risco potencial de ocorrer estresse calórico foi baixo. Nas demais, os percentuais variaram de 83 % (Baixo Vale do Uruguai) a 88,9 % (Campanha), um pouco inferiores, porém ainda indicando reduzido risco da ocorrência de estresse. Condição de estresse leve a moderado ($71 < ITU \leq 79$) ocorreu em $11,5 \pm 3,1$ % das horas avaliadas, em média, destacando-se o Baixo Vale do Uruguai com o maior registro (15,5 %) e o menor observado nas Serras do Sudeste e Nordeste (9,2 %). Os períodos de estresse severo ($79 < ITU \leq 84$) tiveram reduzida duração (média de $0,8 \pm 0,7$ %), enquanto nível crítico ($ITU > 84$) não foi registrado.

Estes resultados indicaram que, durante a primavera, nas regiões com maior conforto térmico, práticas de manejo atuais podem estar sendo eficazes, enquanto nas de registro de estresse leve a moderado, recomenda-se atenção especial ao fornecimento de sombra, água fresca, ventilação e dietas frias durante períodos críticos.

Tabela 2. Período de ocorrência anual (horas) expresso em percentual de quatro classificações do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, na primavera de 2022, 2023 e 2024.

2022				
	Conforto térmico (ITU ≤71)	Estresse leve a moderado (71 < ITU ≤ 79)	Estresse severo (79 < ITU ≤84)	Estresse crítico (ITU >84)
Planalto Médio	92,4	7,6	0,0	0,0
Serra do Sudeste	92,8	7,2	0,0	0,0
Serra do Nordeste	95,9	4,1	0,0	0,0
Encosta Inferior da Serra	86,6	13,1	0,3	0,0
Vale do Uruguai	85,0	13,7	1,3	0,0
Baixo Vale do Uruguai	83,0	15,5	1,5	0,0
Depressão Central	85,8	13,8	0,4	0,0
Missioneira	84,9	14,0	1,10	0,0
Campanha	88,9	10,4	0,7	0,0
Grandes Lagos	89,9	9,9	0,2	0,0
Média geral	88,3	11,5	0,8	0,0
Desvio médio (±)	4,05	3,13	0,68	0,0

2023				
Planalto Médio	85,0	13,5	1,4	0,1
Serra do Sudeste	87,0	11,6	1,3	0,1
Serra do Nordeste	88,7	10,2	1,0	0,1
Encosta Inferior da Serra	82,6	16,1	1,3	0,0
Vale do Uruguai	67,4	26,6	4,9	1,1
Baixo Vale do Uruguai	65,4	28,4	5,1	1,1
Depressão Central	64,9	29,2	4,9	1,0
Missioneira	67,0	29,0	3,9	0,1
Campanha	71,3	25,4	3,2	0,1
Grandes Lagos	75,6	21,7	2,6	0,1
Média geral	75,5	21,2	2,9	0,4
Desvio médio (±)	8,27	6,68	1,42	0,00
2024				
Planalto Médio	72,5	25,1	2,4	0,0
Serra do Sudeste	74,3	23,2	2,5	0,0
Serra do Nordeste	82,0	16,9	1,1	0,0
Encosta Inferior da Serra	72,4	25,3	2,3	0,0
Vale do Uruguai	62,0	30,7	6,2	1,1
Baixo Vale do Uruguai	60,0	33,8	5,8	0,4
Depressão Central	71,1	25,6	3,2	0,1
Missioneira	66,8	27,8	5,3	0,1
Campanha	74,7	23,0	2,3	0,0
Grandes Lagos	84,1	15,2	0,7	0,0
Média geral	72,0	24,6	3,2	0,2
Desvio médio (±)	5,11	3,73	1,41	0,21

A primavera de 2023 se caracterizou pelas grandes amplitudes térmicas e elevadas umidades relativas do ar, com períodos de estresse térmico registrado durante o trimestre, principalmente no mês de novembro. Quanto à temperatura do ar, no mês de setembro, os valores estiveram mais próximos da normalidade nas áreas mais ao Sul do estado, enquanto, na região Noroeste ficaram predominantemente acima da média. Em outubro e novembro, as temperaturas do ar estiveram mais próximas da normalidade. O trimestre (setembro, outubro, novembro) apresentou valores elevados de umidade relativa do ar, principalmente nos meses de setembro e outubro (Tarouco *et al.*, 2023).

Em 2023, houve uma redução do período em conforto térmico na primavera (média baixou para $75,5 \pm 8,27$ %), e a elevação do desvio médio indicou maior variação entre as regiões, comparativamente a de 2022 ($\pm 4,1$ %). Em quatro regiões (40 %), os percentuais de horas avaliadas sem estresse térmico calórico foram superiores a 82,6 %, no Vale do Uruguai, Baixo Vale do Uruguai, Depressão Central e Região Missioneira, os valores variaram entre 64,9 % e 67,4 %, indicando maior risco potencial de estresse térmico nestas áreas (Tabela 4). Nas regiões da Campanha e Grandes Lagos condição não estressante oscilou entre 71,3 % e 75,6 % do período avaliado, respectivamente. A condição de estresse mais frequente foi de leve a moderado, cujo percentual médio foi de $21,2 \pm 6,68$ % das horas avaliadas, havendo variação entre regiões. Em seis regiões (60 %), esta condição de estresse superou os 21,7% do período avaliativo, enquanto no Planalto Médio (13,3 %), Serras do Sudeste (11,6 %) e Nordeste (10,3 %) e Encosta Inferior da Serra não

ultrapassaram os 16,1 %. Houve um pequeno aumento da duração de situações de estresse severo (média de $2,9 \pm 1,42$ %), e, condição crítica de estresse, que não ocorreu em 2022, foi registrada, porém em um baixíssimo percentual (0,4 %). Na Região Sul, a primavera de 2023 foi a mais chuvosa desde os anos 60, ultrapassando os anos de 2009 e 2015. O destaque é o norte do Rio Grande do Sul e oeste de Santa Catarina, onde os volumes de chuva foram significativos e ultrapassaram 1.000 mm. Quanto às temperaturas, a primavera foi marcada por calor extremo em grande parte do País e eventos de ondas de calor. Isso pode ser resultado de uma combinação de fatores, que inclui os impactos do fenômeno El Niño durante toda a primavera e os efeitos do aquecimento global dos últimos anos (Instituto Nacional de Meteorologia, 2023).

Em 2024, o percentual médio de horas em conforto térmico durante a primavera, novamente reduziu, chegando a $72 \pm 5,11$ %. O desvio médio, embora inferior ao de 2023, novamente indicou variação entre regiões ecoclimáticas (Tabela 4). Houve aumento do risco de estresse calórico no Planalto Médio (72,5 %), Serra do Sudeste (74,3 %) e Encosta Inferior da Serra (72,4 %), enquanto a Serra do Nordeste foi a região onde o percentual de horas em condição não estressante termicamente se manteve superior a 80 % (82 %). As condições de um ambiente termicamente adverso se agravaram no Vale do Uruguai (62 %) e Baixo Vale do Uruguai (60 %), e nas demais regiões, os riscos potenciais de desconforto térmico foram amenizados, porém ainda indicando necessidade de atenção. Com exceção da Serra do Nordeste (16,9 %) e Grandes Lagos (15,1 %), nas demais regiões, os percentuais em estresse leve a moderado superaram os 22,9 % das horas avaliadas, chegando ao

máximo de 33,8 % no Baixo Vale do Uruguai. Condição de estresse crítico também teve uma elevação, variando de 0,7 % na Região Grandes Lagos ao máximo de 6,2 % no Vale do Uruguai. Situação de estresse crítico, indicando uma condição emergencial ocorreu no Vale do Uruguai (1,1 %), no Baixo Vale do Uruguai (0,5 %), na Depressão Central (0,1 %) e na Região Missioneira (0,1 %), porém de curtíssima duração (0,2 ± 2,1 %).

A primavera, estação de transição entre inverno e verão, caracteriza-se pela elevação gradual das temperaturas do ar, com maiores riscos potenciais de registros de situações estressantes termicamente. Na série estudada foi observado aumento nos valores do ITU nos anos, com os máximos registros indicando condição de estresse calórico, que se intensificaram em um maior número de regiões ecoclimáticas do estado (Figuras 4 A, B e C e Figura 5 A, B e C). Estes resultados reforçam a necessidade de um monitoramento contínuo dos níveis de estresse térmico e adoção de estratégias de mitigação frente às variações meteorológicas registradas nesta estação de transição, pois pode resultar em redução do consumo alimentar, queda na produção e na qualidade do leite e aumento da incidência de doenças nos animais.

Os resultados relativos ao verão indicaram que, o de 2022/2023, foi caracterizado por temperaturas médias do ar acima da Normal Climatológica Padrão 1991-2020 e pela ocorrência de ondas de calor durante todo trimestre, além da ocorrência de período de estiagem (Tazzo *et al.*, 2023). No entanto, o ITU médio da estação (70,1 ± 1,52) não sugeriu condição de desconforto térmico em sete das 10 regiões ecoclimáticas avaliadas (70 %), indicando baixo risco potencial de estresse térmico. Já no Vale do Uruguai (71,8),

Baixo Vale do Uruguai (72,7) e Região Missioneira (72), uma condição de estresse térmico leve foi registrada ($71 < \text{ITU} \leq 79$), indicando um maior risco potencial de desconforto térmico nestas regiões (Tabela 3; Figura 4A).

Em 2023/2024, por sua vez, a média do ITU do verão, teve uma pequena elevação, passando a configurar um nível de estresse leve ($72,2 \pm 1,24$). Neste verão, as regiões ecoclimáticas onde não houve risco de estresse térmico foram: Serras do Nordeste (69,8) e do Sudeste (70,2) e Planalto Médio (70,8). No entanto, no Baixo Vale do Uruguai (74,6), Vale do Uruguai (73,9) e Depressão Central (73), os animais podem ter sido expostos a uma condição estressante (Tabela 3; Figura 4B).

No verão 2024/2025, o risco potencial de situação de estresse leve foi mantido (ITU médio = $71,7 \pm 1,5$) em grande parte do estado, com exceção das Serras do Sudeste e do Nordeste e Planalto Médio, onde desconforto térmico não foi registrado (Tabela 3; Figura 4C). De modo geral, as temperaturas médias anuais dos verões na série estudada não sugeriram aumento progressivo interanual, diferentemente do registrado na primavera, porém demonstraram variação entre anos (variabilidade interanual) e regiões (variabilidade espacial); sendo que a umidade relativa do ar média anual também apresentou variação inter-regional na série estudada (Anexo III).

Tabela 3. Valores anuais médios e máximos absolutos do Índice de Temperatura do ar e Umidade relativa do ar (ITU) nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, no verão de 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.

Ano	2022/2023		2023/2024		2024/2025	
Região	ITU médio	ITU máximo	ITU médio	ITU máximo	ITU médio	ITU máximo
Planalto Médio	68,0	80,9	70,8	82,8	70,0	81,8
Serra do Sudeste	68,3	80,7	70,2	83,0	69,9	82,8
Serra do Nordeste	65,9	77,8	69,8	81,2	68,1	79,0
Encosta Inferior da Serra	70,6	83,9	72,2	85,4	71,8	84,1
Vale do Uruguai	71,8	84,2	73,9	86,0	74,2	86,6
Baixo Vale do Uruguai	72,7	85,2	74,6	87,0	73,7	86,6
Depressão Central	70,8	83,9	73,0	86,4	73,1	85,9
Missioneira	72,0	84,9	72,9	85,6	73,3	85,8
Campanha	70,9	83,0	72,5	85,1	71,6	83,9
Grandes Lagos	69,6	81,8	71,6	83,9	71,2	83,5
Média geral	70,1	82,6	72,2	84,6	71,7	84,0
Desvio médio (\pm)	1,52	1,70	1,24	1,53	1,50	1,8

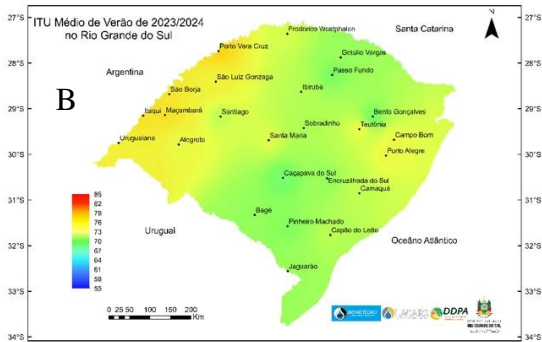
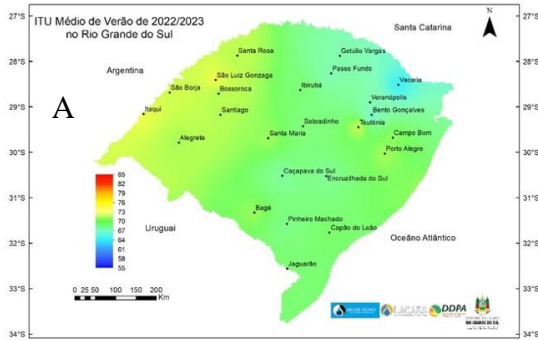


Figura 4. Espacialização do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) médio no verão de 2022/2023 (A), 2023/2024 (B) e 2024/2025 (C), no Rio Grande do Sul.

A análise dos valores máximos absolutos do ITU, por sua vez, indicou possíveis situações de estresse térmico calórico, que variaram de uma condição severa a crítica, em todas as regiões ecológicas e nos três verões avaliados ($82,6 \pm 1,70$ em 2022/2023; $84,6 \pm 1,53$ em 2023/2024 e $84 \pm 1,80$ em 2024/2025; Tabela 3). Particularmente, nos dois últimos verões, os riscos potenciais de estresse térmico calórico foram maiores (Ver Figura 5 A, B e C).

Na comparação dos verões 2022/2023 e 2023/2024, as temperaturas do ar foram, de forma geral, menores em 2023/24, especialmente em relação às temperaturas máximas, com a ocorrência de poucas ondas de calor, o que indica menor risco de estresse térmico. Já as temperaturas mínimas do ar foram mais altas em grande parte do estado (Tazzo *et al.*, 2024), o que pode vir a dificultar a perda de calor adquirido durante o dia, em horários de temperaturas mais amenas (abaixo de 21°C), gerar estresse térmico e, potencialmente, resultar em queda na produção de leite ou aumento de problemas de saúde.

O verão de 2022/23 foi caracterizado como de baixa umidade e baixos volumes de precipitação pluvial, enquanto, em 2023/24, ocorreram valores maiores de umidade relativa do ar, tanto médios como absolutos (Tazzo *et al.*, 2023), os quais, associados às altas temperaturas, aumentam o risco potencial de estresse calórico para os animais. Estimativas potenciais de queda de produção diária de leite devido às condições meteorológicas do verão 2023/2024 foram mais elevadas em vacas leiteiras de maior produtividade, variando de 22 % a 34 %, caso medidas de manejo, visando mitigar os efeitos de um ambiente termicamente desfavorável, não fossem adotadas pelos produtores rurais (Tazzo *et al.*, 2024).

No verão de 2024/2025, as temperaturas médias do ar ficaram abaixo da normal em dezembro de 2024 e próximas da normal em janeiro de 2025. Por sua vez, em fevereiro as temperaturas médias mínimas e médias ficaram entre 1°C e 3°C acima da normal climatológica na maior parte das regiões do estado (Tazzo *et al.*, 2025). O trimestre foi caracterizado por apresentar temperaturas máximas extremamente elevadas, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, com ocorrência de ondas de calor: as temperaturas máximas ultrapassaram 35°C em vários locais, especialmente em fevereiro. Além disso, o verão 2024/2025 apresentou valores elevados de umidade relativa do ar. A ocorrência de ondas de calor (temperaturas acima da média climatológica por cinco ou mais dias), não possibilitou, provavelmente, que as vacas em lactação conseguissem ajustar sua temperatura corporal, acionando os processos fisiológicos da termorregulação, podendo, portanto, ter a sua produção de leite diária afetada, caso a condição de estresse térmico não fosse atenuada ou cessada por estratégias de manejo adotadas pelos produtores rurais (Tazzo *et al.*, 2025). Estimativas potenciais de queda de produção diária de leite devido às condições meteorológicas ocorridas no verão 2024/2025 foram mais elevadas em vacas de maior produção; e variaram de 24,5 % a 28 % durante o trimestre, indicando alto risco potencial de estresse térmico nesta estação, o que afetou o desempenho dos animais (Tazzo *et al.*, 2025).

Embora o ITU médio anual da série estudada tenha indicado conforto térmico no verão 2022/2023, em 70 % das regiões ecoclimáticas; e condição de estresse térmico calórico leve a moderado em 2023/2024 e 2024/2025 neste mesmo percentual de regiões, registros do número de horas em situações termicamente estressantes sugerem risco potencial

de queda de produtividade dos animais. No verão 2022/2023, os animais foram expostos a ambientes confortáveis termicamente durante $57,8 \pm 7,88$ % do período avaliativo, enquanto condições estressantes chegaram ao percentual de 42,2 %, prevalecendo a situação de estresse leve a moderado (35,1 %) (Tabela 5). Esse nível de exposição pode resultar em redução significativa da produção de leite e aumento de problemas de saúde, exigindo atenção especial dos produtores quanto ao manejo térmico das vacas em lactação. O desvio médio encontrado ($\pm 7,88$ %) indica variabilidade regional, com elevado percentual de conforto registrado na Serra do Nordeste (78,4 %) e o menor ocorrido na Região Missioneira (45,1 %) (ver Tabela 5).

No verão de 2023/2024, os maiores percentuais de horas em condição não estressante termicamente foram registrados nas Serras do Nordeste (63,6 %) e Sudeste (58,1 %), além do Planalto Médio (54,9 %) (Tabela 5). Nas demais regiões, variaram entre 43,9 % na Região Grandes Lagos e 25,2 % no Baixo Vale do Uruguai, portando, com os animais sujeitos a um ambiente termicamente desfavorável em grande parte do verão. Houve, portanto, aumento dos riscos de estresse térmico calórico em 70 % das regiões avaliadas.

Destaca-se o Vale do Uruguai, onde se concentra a maior produção de leite do estado, um valor bastante baixo, com 30,6 % das horas avaliadas em conforto térmico, indicando elevado risco ao estresse térmico calórico nesta região. Essa situação pode resultar em maiores perdas produtivas e aumento de problemas de saúde no rebanho leiteiro local, exigindo estratégias de manejo mais rigorosas para mitigar o estresse térmico. A condição de estresse leve a moderado foi mais frequente, com $46,1 \pm 6$ % das horas avaliadas. O desvio médio encontrado novamente indicou

variação entre regiões. Enquanto, nas regiões Serras do Nordeste e Sudeste e no Planalto Médio a condição de estresse não superou os 37,8 %, em quatro regiões, os animais ficaram expostos a períodos superiores a 50% (54,6% no Baixo Vale do Uruguai; 52,9 % na Depressão Central e 52,1% no Vale do Uruguai e 51,2 % na região Grandes Lagos (Tabela 5).

Em 2023/2024 também foram registrados maiores percentuais de situação severa e crítica ($9,1 \pm 3$ % e $1,6 \pm 1$ %, respectivamente) em comparação ao verão 2022/2023. Destacam-se o Baixo Vale do Uruguai (15,5 % em estresse severo e 4,7 % em estresse crítico) e Vale do Uruguai (12,6 % em estresse severo e 4,7 % em estresse crítico) como as regiões de maior potencial de elevado risco ao estresse calórico.

No verão 2024/2025, o período médio em conforto térmico nas regiões avaliadas foi de $46,9 \pm 10,74$ %, um pouco superior ao ocorrido no verão de 2023/2024. O elevado desvio médio sugere variação entre regiões, na qual, com exceção da Serra do Nordeste (71,8 %), Serra do Sudeste (60 %) e Planalto Médio (60,6 %), nos demais locais, o percentual médio de horas em condição confortável termicamente ficou abaixo dos 50% do período avaliado (Tabela 5), com o menor valor, mais uma vez, sendo registrado no Baixo Vale do Uruguai (28,7 %). Embora o percentual médio de estresse leve a moderado tenha ficado na faixa dos $41,8 \pm 6,1$ %, com variação entre regiões, houve um pequeno aumento da condição severa, passando para uma média de $9,6 \pm 4,19$ %. As regiões Missioneira, Baixo Vale do Uruguai, Vale do Uruguai, Campanha, Serra do Sudeste e Grandes Lagos apresentaram aumento nos índices de estresse severo. Condição crítica de estresse térmico também foi ligeiramente

superior no verão 2024/2025, com valor médio de $1,8 \pm 1,40$ % do período. Esse aumento nas condições severa e crítica pode resultar em maiores perdas produtivas e intensificação de problemas de saúde no rebanho leiteiro dessas regiões.

Tabela 4. Período de ocorrência anual (horas) expresso em percentual de quatro classificações do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, no verão de 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.

2022/2023				
	Conforto térmico (ITU ≤71)	Estresse leve a moderado (71 < ITU ≤79)	Estresse severo (79 < ITU ≤ 84)	Estresse crítico (ITU >84)
Planalto Médio	66,2	30,5	3,3	0,0
Serra do Sudeste	67,4	29,9	2,7	0,0
Serra do Nordeste	78,4	21,0	0,6	0,0
Encosta Inferior da Serra	53,9	37,3	8,5	0,3
Vale do Uruguai	51,8	38,9	9,2	0,1
Baixo Vale do Uruguai	53,8	33,9	10,2	2,1
Depressão Central	51,6	39,2	8,8	0,4
Missioneira	45,1	41,8	11,6	1,4
Campanha	51,2	40,2	8,3	0,3
Grandes Lagos	58,6	38,1	3,3	0,0
Média geral	57,8	35,1	6,6	0,5
Desvio médio (±)	7,88	3,81	2,38	0,52

2023/2024				
Planalto Médio	54,9	37,8	7,1	0,2
Serra do Sudeste	58,1	36,8	5,0	0,1
Serra do Nordeste	63,6	34,0	2,4	0,0
Encosta Inferior da Serra	42,6	46,2	9,9	1,4
Vale do Uruguai	30,6	52,1	12,6	4,8
Baixo Vale do Uruguai	25,2	54,6	15,5	4,7
Depressão Central	34,2	52,9	11,0	1,9
Missioneira	37,9	48,6	12,3	1,2
Campanha	40,9	47,1	10,4	1,6
Grandes Lagos	43,9	51,2	4,6	0,3
Média geral	43,2	46,1	9,1	1,6
Desvio médio (±)	9,56	5,96	3,44	1,35
2024/2025				
Planalto Médio	60,6	33,9	5,6	0,0
Serra do Sudeste	60,0	34,3	5,3	0,3
Serra do Nordeste	71,8	26,6	1,6	0,0
Encosta Inferior da Serra	46,5	42,6	9,9	1,0
Vale do Uruguai	37,3	44,1	15,0	3,7
Baixo Vale do Uruguai	28,7	50,3	15,9	5,1
Depressão Central	38,7	48,7	10,6	2,0
Missioneira	33,8	46,5	16,6	3,1
Campanha	42,6	44,8	10,5	2,1
Grandes Lagos	48,7	45,8	4,8	0,7
Média geral	46,9	41,8	9,6	1,8
Desvio médio (±)	10,74	6,10	4,19	1,40

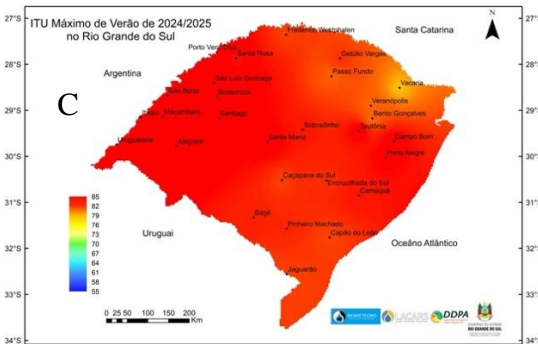
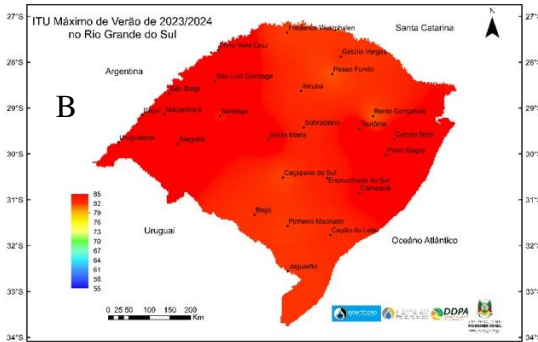
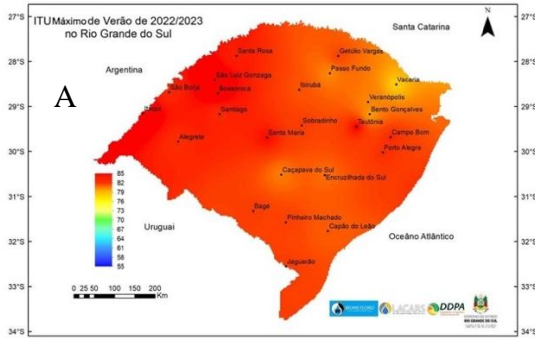


Figura 5. Espacialização do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) máximo absoluto no verão de 2022/2023 (A), 2023/2024 (B) e 2024/2025 (C), no Rio Grande do Sul.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) médio na primavera permaneceu abaixo do limite de estresse de modo geral, mas com aumento gradual entre 2022 e 2024. Já o ITU máximo absoluto indicou riscos moderados a severos, especialmente nas regiões do Vale do Uruguai e Baixo Vale do Uruguai, que apresentaram os maiores índices de estresse térmico. No verão de 2022/2023, o ITU médio indicou baixo risco de estresse térmico em grande parte do estado, porém regiões como Vale do Uruguai e Baixo Vale do Uruguai apresentaram estresse leve. Nos verões seguintes, o risco aumentou, com condições de estresse leve a moderado em 70% das regiões, e máximos absolutos indicando estresse severo a crítico.

O presente estudo evidenciou a variabilidade interanual (entre anos) e espacial (entre regiões) do risco de estresse térmico calórico em bovinos leiteiros nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul durante a primavera e o verão, conforme demonstrado pelos índices crescentes de temperatura e umidade relativa do ar registrados nas estações de 2022 a 2025. As regiões com maior altitude, como as Serras do Sudeste e Nordeste, apresentaram maiores índices de conforto térmico, enquanto regiões de baixa altitude e a de maior produção leiteira, como o Vale do Uruguai, mostraram maior vulnerabilidade e aumento dos riscos ao estresse calórico, com ocorrência crescente de condições ambientais termicamente severas e críticas, evidenciando a importância da adaptação regional das práticas de manejo. Os resultados indicaram a necessidade de monitoramento contínuo das condições meteorológicas e adoção de medidas de manejo, como sombreamento

adequado, fornecimento de água fresca, adequação da dieta e ventilação nas instalações, principalmente em períodos críticos, que promovam o conforto térmico dos animais, para minimizar prejuízos produtivos e garantir o bem-estar animal na cadeia produtiva do leite no estado.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, D. M. M. R.; ALVES, A. A. **Bioclimatologia aplicada à produção de bovinos leiteiros nos trópicos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2009. (Documentos, 188). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/664507/1/documento188.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2025.

BERLATO, M. A.; CORDEIRO, A. P. A. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, p. 273-302, 2017.

BROWN-BRANDL, T. M. *et al.* Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, part 1: analyses of indicators. **Biosystems Engineering**, London, v. 90, n. 4, p. 451-462, 2005.

CAI, I. W. *et al.* Anthropogenic impacts on twentiethcentury ENSO variability changes. **Nature Reviews Earth and Environment**, London, 4, p. 407-418, 2023.

COLLIER, Robert J. *et al.* Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. **Animal Frontiers**, [London], v. 9, n. 1, p. 12-19, 2019.

COLLISCHONN, W. *et al.* The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, 30, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520240119>. Acesso em: 27 nov. 2025.

EMATER-RS. **Relatório socioeconômico da cadeia produtiva do leite no Rio Grande do Sul: 2023**. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2025. 159 p. Disponível em:

https://www.emater.tcche.br/site/arquivos/publicacoes_tecnicas/relat_leite_2023.pdf. Acesso em: 18 nov. 2025.

HAHN, G. L. Environmental management for improved livestock performance, health and well-being. **Japanese Journal of Livestock Management**, Tokyo, v. 30, n. 3, p. 113-127, 1995.

HAHN, G. L. *et al.* Thermal indices and their applications for 34 livestock environments. *In*: DeSHAZER, J. A. (ed.). **Livestock energetics and thermal environment management**. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009. p. 113-130.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de leite**. 2024. Brasília, DF: IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/br> Acesso em: 03 mar. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Ano de 2024 é o mais quente no Brasil desde 1961**. Brasília, DF: INMET, 02 jan. 2025. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/2024-%C3%A9-o-ano-mais-quente-da-s%C3%A9rie-hist%C3%B3rica-no-brasil>. Acesso em: 4 abr. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Balanço da primavera no Brasil**: a primavera foi marcada por temperaturas elevadas, seca no centro-norte do país e chuva intensa na Região Sul. [Brasília, DF]: INMET, 2023. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Balan%C3%A7o_Primavera2023-rrr.pdf. Acesso em: 3 mar. 2025.

JUNGES, A. H. *et al.* Avaliação da onda de calor ocorrida em janeiro de 2022 no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 30, 2022. Disponível:

<https://apct.sede.embrapa.br/agrometeoros/article/view/27078>. Acesso em: 3 mar. 2025.

MALUF, J. R. T.; CAIAFFO, M. R. R. Regiões ecoclimáticas do Estado do Rio Grande do Sul. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001. Tema: Água e agrometeorologia no novo milênio, p. 151-152.

MARENGO, J. A. *et al.* O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 38, n. 112, p. 203-227, set./dez. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.202438112.012>. Acesso em: 18 nov. 2025.

NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION (U.S.). **Global climate report: annual 2024**. [Asheville (N.C.)]: NCEI, 2025. Disponível em: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202413>. Acesso em: 5 fev. 2026.

ROCHA, P.; COIMBRA, V. Em seis décadas, maioria das temperaturas na casa dos 40°C foi registrada a partir de 2022 no RS. **Zero Hora**, Porto Alegre, 21 mar. 2025. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/ambiente/noticia/2025/03/em-seis-decadas-maioria-das-temperaturas-na-casa-dos-40degc-foi-registrada-a-partir-de-2022-no-rs-cm8hlgun9007t0144v6p2u93o.html>. Acesso em: 27 nov. 2025.

ROSENBERG, N. J, BIAD, B. L, VERNIS, S. B. Human and animal biometeorology. *In*: ROSENBERG, N. J, BLAD, B. L, VERMA, S. B. **Microclimate: the biological environment**. 2nd ed. New York: Wiley; 1983. p. 423-469.

SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 67, n. 1-2, p. 1-18, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00162-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00162-7). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030162260001627>. Acesso em: 18 nov. 2025.

SILVA FILHO, F. P. **Adaptabilidade ao calor e índices ambientais para vacas da raça holandesa no semiárido**. 2013. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2013. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/6768/2/Florisval%20Protasio%20da%20Silva%20Filho.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

TAROUCO, A. K. *et al.* Biometeorologia aplicada à bovinocultura de leite no Rio Grande do Sul: condições meteorológicas, índice de temperatura e umidade (conforto térmico) e estimativa de efeitos na produção de leite na primavera de 2022. **Comunicado Agrometeorológico**, Porto Alegre, n. 47, dez. 2022. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202212/22123930-comunicado-biometeorolo-gico-primavera-2022-final.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.

TAROUCO, A. K. *et al.* Biometeorologia aplicada à bovinocultura de leite no Rio Grande do Sul: condições meteorológicas, índice de temperatura e umidade (conforto térmico) e estimativa de efeitos na produção de leite na primavera 2023. **Comunicado Agrometeorológico**, Porto Alegre, n. 63, dez. 2023. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202312/19113547-comunicado-biometeorologico-primavera-2023-final.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.

TAROUCO, A. K. *et al.* Biometeorologia aplicada à bovinocultura de leite no Rio Grande do Sul: condições meteorológicas, índice de temperatura e umidade (conforto térmico) e estimativa de efeitos na produção de leite na primavera 2024. **Comunicado Agrometeorológico**, Porto Alegre, n. 79, 2024. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202501/23150217-comunicado-agrometeorologico-79-especial-biometeorologico-primavera-2024-final-1.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.

TAROUCO, A. K. *et al.* **BovConfort**: desenvolvendo um aplicativo móvel para auxiliar na identificação de situações de estresse térmico bovino e estimar perdas de produção de leite. Porto Alegre: SEAPI/DDPA, 2025. 36 p. (Circular: divulgação técnica, 24). Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202501/23113644-circular-24-bovconfort-final-22jan25.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.

TAZZO, I. F. *et al.* Biometeorologia aplicada à bovinocultura de leite no Rio Grande do Sul: condições meteorológicas, índice de temperatura e umidade (conforto térmico) e estimativa de efeitos na produção de leite no verão 2022/2023. **Comunicado Agrometeorológico**, Porto Alegre, n. 51, mar. 2023. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202304/26093855-comunicado-biometeorologico-verao-2022-2023-final.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.

TAZZO, I. F. *et al.* Biometeorologia aplicada à bovinocultura de leite no Rio Grande do Sul: condições meteorológicas, índice de temperatura e umidade (conforto térmico) e estimativa de efeitos na produção de leite no verão 2023/2024. **Comunicado Agrometeorológico**, Porto Alegre, n. 67, mar. 2024. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202403/2609>

5311-comunicado-especial-biometeorologico-67-verao-2023-2024-final.pdf. Acesso em: 18 nov. 2025.

TAZZO, I. F. *et al.* Biometeorologia aplicada à bovinocultura de leite no Rio Grande do Sul: condições meteorológicas, índice de temperatura e umidade (conforto térmico) e estimativa de efeitos na produção de leite no verão 2024/2025. **Comunicado Agrometeorológico**, Porto Alegre, n. 83, 2025. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202507/07112216-comunicado-agrometeorologico-83-especial-biometeorologico-verao-2024-2025-final.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, Boston, v. 12, n. 2, p. 57-60, 1959.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **State of the global climate 2024**. Geneva: WMO, 19 Mar. 2025. Disponível em: <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate/state-of-global-climate-2024>. Acesso em: 27 nov. 2025.

ANEXOS

Anexo 1. Número de estações meteorológicas, número total médio de horas avaliadas por trimestre e média mensal por município para estabelecer a duração de situações de conforto/desconforto térmico nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul na primavera dos anos 2022, 2023 e 2024.

Ano	Nº estações Meteorológicas/ Municípios	Total médio de horas avaliadas no trimestre (h)	Média mensal de horas avaliadas (h) por estação meteorológica/município
Planalto Médio			
2022	3	2.177	725,5
2023	2	2.130	709,8
2024	3	2.018	672,8
Serra do Sudeste			
2022	3	2174	725,0
2023	3	1.986	661,9
2024	3	2.095	698,2
Serra do Nordeste			
2022	3	2174	725,4
2023	1	2159	719,7
2024	2	2170	723,2
Encosta Inferior da Serra			
2022	2	2176	725,0
2023	2	2170	723,3
2024	2	2107	702,3
Vale do Uruguai			
2022	3	2180	727,0
2023	2	2119	706,3
2024	3	2167	722,2

Baixo Vale do Uruguai			
2022	3	2061	687,0
2023	3	2152	717,4
2024	3	1987	662,4
Depressão Central			
2022	1	2172	724,0
2023	3	2158	719,2
2024	3	2163	721,1
Missioneira			
2022	3	2124	708,0
2023	3	2019	672,9
2024	3	2002	667,2
Campanha			
2022	2	2178	726,0
2023	3	2141	713,6
2024	3	2151	717,0
Grandes Lagos			
2022	2	2184	728,0
2023	3	2180	726,8
2024	3	2176	725,3

Anexo 2. Número de estações meteorológicas, Número total médio de horas avaliadas por trimestre e média mensal por município para estabelecer a duração de situações de conforto/desconforto térmico nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul no verão dos anos 2022/23, 2023/24 e 2024/25.

Ano	Nº estações meteorológicas/municípios	Total médio de horas avaliadas no trimestre (h)	Média mensal de horas avaliadas (h) por estação meteorológica/município
Planalto Médio			
2022/23	3	2061	687,0
2023/24	2	2130	709,8
2024/25	3	2018	672,8
Serra do Sudeste			
2022/23	3	2104	701,4
2023/24	3	1986	661,9
2024/25	3	2095	698,2
Serra do Nordeste			
2022/23	3	2104	718,4
2023/24	1	2159	719,7
2024/25	2	2170	723,2
Encosta Inferior da Serra			
2022/23	2	2082	694,0
2023/24	2	2170	723,3
2024/25	2	2107	702,3
Vale do Uruguai			
2022/23	1	2456	818,7
2023/24	2	2119	706,3
2024/25	3	2167	722,2

Baixo Vale do Uruguai			
2022/23	3	2094	697,9
2023/24	3	2152	717,4
2024/25	3	1987	662,4
Depressão Central			
2022/23	3	2142	714,0
2023/24	3	2158	719,2
2024/25	3	2163	721,1
Missioneira			
2022/23	3	2032	678,4
2023/24	3	2019	672,9
2024/25	3	2002	667,2
Campanha			
2022/23	2	2142	713,8
2023/24	3	2141	713,6
2024/25	3	2151	717,0
Grandes Lagos			
2022/23	2	2155	718,3
2023/24	3	2180	726,8
2024/25	3	2176	725,3

Anexo 3. Valores anuais médios de Temperatura média do ar (Temp, °C) e Umidade relativa média do ar (UR, %) nas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul, na primavera de 2022, 2023 e 2024, e no verão de 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.

	PRIMAVERA					
	2022		2023		2024	
	Temp	UR	Temp	UR	Temp	UR
Planalto Médio	16,3	76,5	18,6	83,3	19,9	77,1
Serra do Sudeste	16,3	75,6	17,0	83,1	18,4	81,6
Serra do Nordeste	15,4	76,3	17,7	80,1	19,3	76,7
Encosta Inferior da Serra	17,7	76,0	19,1	82,9	19,3	79,3
Vale do Uruguai	17,7	70,0	21,4	78,8	22,1	74,0
Baixo Vale do Uruguai	19,3	69,8	20,7	81,9	21,8	78,5
Depressão Central	18,5	74,8	19,6	81,2	20,9	76,3
Missioneira	18,6	68,7	20,2	80,4	21,3	75,7
Campanha	17,6	70,0	19,0	77,6	20,2	76,0
Grandes Lagos	17,0	80,0	17,5	84,3	19,0	85,0
Média geral	17,4	73,8	19,1	81,4	20,2	78,0
Desvio médio (±)	0,94	3,32	1,10	1,74	1,05	2,48

VERÃO						
	2022/2023		2023/2024		2024/2025	
	Temp	UR	Temp	UR	Temp	UR
Planalto Médio	22,6	71,2	22,8	80,4	22,4	78,1
Serra do Sudeste	23,0	69,2	22,4	81,2	22,4	76,0
Serra do Nordeste	21,1	75,0	22,2	77,0	21,1	76,1
Encosta Inferior da Serra	24,1	70,5	23,8	80,8	23,7	77,2
Vale do Uruguai	25,3	62,5	25,2	79,1	25,4	71,2
Baixo Vale do Uruguai	24,4	62,9	25,7	79,2	25,9	71,2
Depressão Central	24,9	69,5	24,7	77,1	24,7	72,7
Missioneira	25,7	60,1	24,8	75,9	26,0	66,2
Campanha	25,0	60,5	24,5	73,5	24,7	66,4
Grandes Lagos	23,5	74,8	23,2	81,2	22,9	81,0
Média geral	24,0	67,6	23,9	78,5	23,9	73,6
Desvio médio (±)	1,13	4,90	1,05	2,12	1,42	4,06



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA,
PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO

Secretaria de Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação
Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária

Avenida Getúlio Vargas, 1384 - Menino Deus
CEP 90150-004 - Porto Alegre - RS
Fone: (51) 3288-8000

www.agricultura.rs.gov.br/ddpa