



**ANDRÉ LUÍS NOGUEIRA AMARO**

**ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DO  
CONFORTO HUMANO PARA O ESTADO DE  
MINAS GERAIS COM BASE NO ÍNDICE DE  
TEMPERATURA E UMIDADE**

**LAVRAS-MG**

**2016**

**ANDRÉ LUÍS NOGUEIRA AMARO**

**ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DO CONFORTO HUMANO  
PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS COM BASE NO ÍNDICE  
DE TEMPERATURA E UMIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Automação, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Co-orientadores

Dr. Alessandro Torres Campos

Dr. Danton Diego Ferreira

Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz

Dra. Jaqueline de Oliveira Castro

Dra. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi

**LAVRAS-MG**

**2016**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Amaro, André Luís Nogueira.

Zoneamento bioclimático do conforto humano para o estado de Minas Gerais com base no índice de temperatura e umidade / André Luís Nogueira Amaro. – Lavras : UFLA, 2016.

50 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico) –Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador(a): Tadayuki Yanagi Junior.

Bibliografia.

1. Conforto térmico humano. 2. Séries temporais. 3. Biometeorologia humana. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO DO CONFORTO HUMANO PARA O  
ESTADO DE MINAS GERAIS COM BASE NO ÍNDICE DE  
TEMPERATURA E UMIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Automação, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em: 16/09/2016.

Dr. Alessandro Torres Campos UFLA

Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz UFLA

Dra. Joelma Rezende Durão Pereira UNILAVRAS

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2016**

## **DEDICO**

Dedico este trabalho ao campo científico de ambiência humana, a minha família, amigos, orientador, coorientadores, professores e funcionários do departamento de Engenharia da UFLA, a Fundação de Amparo FAPEMIG e a todos que colaboraram na concretização deste projeto.

## **AGRADECIMENTOS**

Principalmente a Deus, que com suas forças quais conspiram a nosso favor, me proporcionou por este trabalho a conclusão de mais uma etapa importante para a concretização do meu sonho.

A minha família, pelo amparo, por me auxiliarem na superação dos momentos difíceis e sempre me indicarem o caminho certo.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

Ao meu orientador e aos professores das disciplinas cursadas na UFLA, pelos conhecimentos transmitidos.

Finalmente, à FAPEMIG pela bolsa de Mestrado, a CAPES e ao CNPq.

## RESUMO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do clima e a avaliação de tendências para períodos específicos, com intuito de quantificar o nível de conforto térmico dos trabalhadores do setor agrícola que atuam no estado de Minas Gerais. Estes exercem atividades laborais em ambientes aberto, expostos as variáveis meteorológicas, sendo afetados diretamente pelo clima. Séries históricas de dados médios mensais de temperatura de bulbo seco do ar ( $t_{bs}$ ) máxima, média e mínima e umidade relativa do ar (UR), para o período de 1976 a 2014, obtidos nas estações meteorológicas do INMET foram utilizados neste estudo. Estas séries foram convertidas em séries históricas de dados médios mensais do índice de temperatura e umidade (ITU) máximo, médio e mínimo, que propiciaram o zoneamento bioclimático. Posteriormente, aplicaram-se testes estatísticos nas séries de dados de ITU para avaliação de tendências de aumento ou diminuição dos valores para a próxima década. Tendências estatísticas de aumento nas condições de desconforto térmico nas diversas mesorregiões do estado de Minas Gerais durante as estações do ano foram observadas, sendo mais proeminentes no verão e primavera.

**Palavras-chave:** Conforto térmico humano. Séries temporais. Biometeorologia humana.

## GENERAL ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the effect of the climate and the trends for specific periods, in order to quantify the level of thermal comfort for the agricultural workers who labor in the state of Minas Gerais. These workers exert their activities in open environments, exposed to the meteorological variables, being affected straight by the climate. Historical series of monthly average data of air dry bulb temperature ( $t_{db}$ ) – maximum, medium and minimum - and air relative humidity (RH), for the period of 1976 to 2014, obtained from INMET meteorological stations were used in this study. These series were converted into historical series of monthly average data of the maximum, medium and minimum temperature-humidity index (THI), which provided the bioclimatic mapping. Subsequently, statistical tests were applied in the THI data series to evaluate trends of increasing or decreasing values for the next decade. Statistical trends of growth in the thermal discomfort conditions in the several mesoregions of the state of Minas Gerais during the seasons were observed, being more prominent in summer and spring.

**Key-words:** Human thermal comfort. Time series. Human biometeorology.



## SUMÁRIO

### PRIMEIRA PARTE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Ambiente térmico e o conforto humano.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2</b>	<b>Índices de conforto humano.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Mudanças climáticas.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4</b>	<b>Análise de séries históricas.....</b>	<b>14</b>
<b>2.5</b>	<b>Zoneamento Bioclimático.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>18</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>19</b>

### SEGUNDA PARTE - ARTIGO

	<b>ARTIGO: Análise de tendência do índice de temperatura e umidade (ITU) no Estado de Minas Gerais, Brasil .....</b>	<b>23</b>
--	--	-----------

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1 INTRODUÇÃO**

Minas Gerais é um estado brasileiro com o clima predominante tropical chuvoso, com períodos de chuvas e estiagem bem definidos. Porém, no estado existe considerável complexidade climática, que devido à sua extensão e relevo as regiões apresentam diferentes regimes de chuvas e de temperaturas.

Contudo, a economia de Minas Gerais é dependente da agricultura e pecuária, sendo o setor agrícola que mais se destaca, tendo sua produção diversificada entre, grãos, frutos, verduras, carne, leite, ovos, madeira, entre outros. As atividades desenvolvidas pelo setor dependem da mão-de-obra de trabalhadores rurais, os quais passam parte do dia exercendo suas atividades expostos ao ambiente térmico e as intempéries climáticas.

O clima afeta diretamente a produção humana, animal e vegetal. E ao longo do tempo, o clima tem passado por sucessivas mudanças, fato que tem despertado o interesse de pesquisadores de diversas áreas sobre o tema mudanças climáticas. Neste contexto, apesar da relevância dos estudos sobre mudanças climáticas, na área de conforto humano e animal para mitigação de riscos e tomada de decisões, poucos estudos têm sido realizados em relação ao ambiente térmico do trabalhador rural no Brasil.

O setor agrícola é o que mais contrata no estado de Minas Gerais, e esses trabalhadores geralmente exercem maior parte suas atividades em ambiente externo, expostos a variáveis climáticas, sendo de grande importância o estudo detalhado sobre as condições térmicas as quais esses trabalhadores estejam expostos durante sua jornada de trabalho.

Trabalhadores rurais que exercem atividades em ambientes desconfortáveis termicamente estão mais sujeitos a acidentes no trabalho, apresentam redução de produtividade, apresentam maior risco de insalubridade e, em casos mais extremos, podem chegar à morte, dependendo da condição térmica

do ambiente e a atividade exercida. Pelo fato que as funções termorreguladoras dos trabalhadores podem não ser suficientes para manter a temperatura do núcleo corporal dentro de limites aceitáveis em função do ambiente que estejam expostos, gerando estresse por calor, causando de leve desconforto, a riscos a saúde, como câimbras, insolação, aumento da frequência cardíaca, da temperatura corporal, da pressão sanguínea e da produção de suor.

Neste sentido, visando buscar formas mais práticas de se quantificar o efeito combinado das variáveis ambientais que interferem no estado de conforto dos humanos em geral, diversos índices de classificação de conforto ou desconforto térmico foram desenvolvidos, podendo estes ser utilizados em zoneamentos bioclimáticos do conforto humano em diversas funções.

A aplicação do zoneamento bioclimático para se inferir sobre a aptidão de regiões para o desenvolvimento de atividades laborais propiciam a obtenção de informações que auxiliam na tomada de decisão em relação à saúde pública. Estudos desta natureza podem contribuir com informações relevantes para o planejamento das atividades desenvolvidas pelos trabalhadores em ambientes externos, como a definição da jornada de trabalho e descanso, uso de equipamentos de proteção, entre outros.

Desta forma, estudos sobre o clima de uma região permitem avaliar os níveis de conforto e ou desconforto térmico das pessoas que trabalham ou residam na região, sendo de grande utilidade para melhorar a gestão da saúde pública, melhorar o planejamento das atividades e auxiliar nas tomadas de decisão, bem como, no uso de técnicas para climatização ou mudanças na rotina de trabalho.

### **1.1 Objetivo geral**

Objetivou-se com o presente trabalho, propor um zoneamento bioclimático para o estado de Minas Gerais, visando mensurar o nível de conforto térmico dos trabalhadores rurais, utilizando-se de análises estatísticas, ferramentas computacionais e séries históricas de dados meteorológicos.

### **1.2 Objetivos específicos**

a) Aplicar um teste de tendências a uma série histórica de dados de índice de temperatura e umidade (ITU) para o Estado de Minas Gerais para estudo do conforto humano.

b) Com base nos resultados de tendência aplicada à série histórica de dados, prever um cenário futuro.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 O ambiente térmico e o conforto humano**

O ambiente térmico pode ser definido pelas características climáticas de um local ou região, e está entre os principais fatores que condicionam o comportamento humano e animal. Nos humanos, a disponibilidade climática interfere principalmente na alimentação, na vestimenta e no tipo e intensidade das atividades realizadas (BURIOL et al., 2015).

A caracterização do ambiente térmico é importante para se buscar o conforto humano, melhorando as condições de trabalho. O organismo humano sofre influência das variáveis térmicas do ambiente de trabalho, afetando de forma direta ou indireta a saúde, o bem-estar e a realização das atividades que lhe são atribuídas. A sensação de desconforto térmico no ambiente de trabalho pode diminuir o desempenho do trabalhador, resultando em decréscimo na produtividade (SOUZA et al., 2010).

O ar atmosférico é um importante componente do ambiente. Os principais elementos meteorológicos que condicionam o comportamento dos seres humanos são a temperatura e umidade relativa do ar, evaporação, velocidade do vento e radiação. Entretanto, a temperatura e a umidade relativa do ar são os principais responsáveis pelos processos de aquecimento e resfriamento (SOUZA et al., 2010).

Segundo Nóbrega e Lemos (2011), o conforto térmico é o resultado da combinação de fatores como, o metabolismo e as variáveis térmicas, dentre outros. Em ambiente natural, a quantificação do conforto térmico geralmente é realizada em função da temperatura e da umidade relativa do ar. Isto se deve à dificuldade de determinação das outras variáveis e por serem facilmente modificadas pelo vestuário e sombreamento, especialmente devido à mobilidade humana.

Em condições de conforto térmico, as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ao seu redor ocorrem sem dispêndio extra de energia, propiciando desta forma, que a capacidade de trabalho seja maximizada. No entanto, em condições de desconforto térmico, parte da energia que poderia ser usada para o desenvolvimento de algum trabalho é usada no processo de termorregulação, podendo causar redução no rendimento laboral e problemas de saúde ao trabalhador (FROTA; SCHIFFER, 2003).

## **2.2 Índices de conforto humano**

De acordo com Souza et al. (2010), existem diversos índices de conforto térmico que visam englobar, em um único parâmetro, o efeito conjunto dos elementos meteorológicos e do ambiente construído sobre o indivíduo estudado, homem ou animal.

Entre os índices térmicos desenvolvidos para estimar o conforto térmico de humanos destaca-se o índice de temperatura e umidade (ITU) e a temperatura efetiva (TE) (THOM, 1959). O ITU não reflete a carga térmica radiante que atua sobre os humanos e animais. Desta forma, em ambientes externos, em que as cargas térmicas de radiação normalmente são elevadas, o seu uso não é recomendado. Entretanto, devido à dificuldade de se obter dados de carga térmica de radiação em ambientes externos para serem usados em zoneamentos bioclimamáticos, tem-se usado frequentemente o ITU. Este índice tem sido usado nos estudos do conforto térmico de vacas leiteiras em seis microrregiões do estado da Bahia (SOUZA; SILVA; SILVA, 2016); em quantificação do estresse térmico de humanos em ambiente urbano (NOBREGA; LEMOS, 2011); em estudo para o conforto e desconforto térmico humano para o Mato Grosso do Sul (SOUZA et al., 2010); em zoneamento bioclimático da região sudeste do Brasil para o conforto animal e humano (OLIVEIRA et al., 2006); e para estimativas de

níveis críticos superiores de ITU para vacas leiteiras Holandês-Zebu em lactação (AZEVEDO et al., 2005).

Outros exemplos de índices de conforto para humanos são: o índice de estresse por calor (HSI), este índice utiliza a proporção entre a evaporação necessária para manter o equilíbrio térmico e a evaporação máxima conseguida no ambiente térmico, convertida em percentagem (BELDING; HATCH, 1955); o índice de bulbo úmido e temperatura do globo negro (IBUTG), este necessita da temperatura do globo negro para ser calculado, dados dificilmente encontrados em estações meteorológicas brasileiras, dificultando sua utilização (YAGLOU; MINARD, 1957, THOM, 1959); o voto médio previsto (PMV), parte dos dados utilizados nesse cálculo são oriundos de respostas em questionários que expressam a sensação de conforto em relação ao ambiente (FANGER, 1970); o índice de calor (IC), calcula o efeito combinado entre temperatura real e umidade relativa do ar (STEADMAN, 1979); e o índice de conforto humano (ICH), além da temperatura e umidade este índice utiliza a velocidade do vento em seu cálculo (ROSENBERG, 1983); dentre outros.

Vários índices têm sido usados por pesquisadores em seus trabalhos para estimar o nível de conforto térmico de humanos em diferentes regiões. Buriol et al. (2015), estimaram o conforto térmico humano em Santa Maria/RS utilizando o índice de temperatura efetiva (TE). França et al. (2015) estimaram o índice de temperatura e umidade (ITU) e o índice de desconforto térmico (IDT) para cidade de Cuiabá com relação ao conforto humano. Santos; Amorim e Cavalcante (2014), utilizaram o índice de desconforto (ID), para a análise do conforto humano no município de Arapiraca/AL. Carneiro et al. (2015) aplicaram o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), índice de temperatura e umidade (ITU), índice de conforto humano (ICH) e temperatura efetiva (TE), para estimativa de conforto térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura. Moraes; Silva e Caramori (2016), utilizaram o índice TE para estimar o conforto térmico humano no estado do Paraná.

Os trabalhos acima citados apresentaram resultados relevantes, comprovando a efetividade da utilização destes índices em zoneamentos bioclimáticos, que propiciam a ampliação do conhecimento sobre as aptidões climáticas em diversas regiões brasileiras.

### **2.3 Mudanças climáticas**

Devido o potencial de impacto ambiental nos ecossistemas e, especialmente, na agropecuária, as alterações no padrão climático do planeta tem despertado muito a atenção. Na região tropical, a economia é fortemente dependente desta atividade, o que aumenta a relevância de um maior conhecimento sobre a ocorrência de eventuais alterações climáticas (MARENGO; CAMARGO, 2008).

O aquecimento global tem causado preocupação em todo planeta, pelas ações de causa e consequência que ocorreriam diante ao possível aumento de temperatura. Contudo, existe a hipótese que as mudanças climáticas podem ser resultantes naturais da variabilidade climática natural (ALCANTARA et al., 2012).

Segundo Carvalho et al. (2011) o termo mudanças climáticas envolve todos os fenômenos naturais que são afetados pelo processo de mudança do clima do planeta. Por sua vez, o aquecimento global abrange especificamente ao aumento médio da temperatura na superfície do planeta. E mesmo existindo diferenças entre mudanças climáticas e aquecimento global, eles estão interligados e observa-se entre eles uma relação de causa e efeito.

Mudanças climáticas podem ser resultado natural do sistema climático do planeta, podendo ser chamada de variabilidade climática natural, ou pode ocorrer devido às ações antropogênicas. Quando essas variações climáticas têm suas causas de origem antropogênica, são associadas à influência das atividades humanas sobre o meio ambiente. Das mudanças produzidas ou provocadas pelo



homem ganha destaque, a possível elevação nos níveis de temperatura média do planeta por conta, principalmente, das elevações dos níveis de gases do efeito estufa dentre eles, especialmente, o gás carbônico e o metano lançados pelas atividades humanas, os quais vêm mudando a composição e o dinamismo da atmosfera (ALCANTARA et al., 2012).

Segundo as estimativas de modelos de previsões climáticas globais do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), até o fim do Século XXI, a temperatura global pode aumentar entre 1,4°C para um cenário otimista e 5,8°C para um cenário pessimista, que representaria um aquecimento ainda mais acentuado que o já observado no século XX (MARCOTT et al., 2013).

A frequência dos eventos climáticos extremos em todo o planeta tem aumentado desde a segunda metade do século XX, esses eventos podem ser enchentes, secas prolongadas, ondas de calor, tufões e tornados. No Brasil, exemplos de extremos climáticos é o furacão Catarina, secas prolongadas no nordeste e enchentes no norte e sul do país, entre outros. O equilíbrio climático de nosso planeta é frágil, portanto alterações climáticas podem trazer grande destruição, afetando uma grande parte da população, enfatizando a importância de modelos que consigam interpretar e prever a ocorrência desses extremos climáticos (MARENGO, 2010).

#### **2.4 Análise de séries históricas**

Série temporal ou série histórica é definida segundo Morettin e Tolo (1985) como uma sequência de dados obtidos em intervalos regulares de tempo durante um período específico.

Ehlers (2009) relata que a característica mais importante dos dados das séries históricas é que as observações vizinhas são dependentes e é de interesse analisar e modelar esta dependência. Enquanto modelos de regressão a ordem das observações é irrelevante para a análise, em séries temporais a ordem dos dados é

crucial. Tem-se ainda, que em análises de séries temporais, o tempo pode ser substituído por outra variável como espaço, profundidade, entre outros.

Em uma análise de série temporal, objetiva-se inicialmente modelar o fenômeno estudado para, em seguida, descrever outros parâmetros como o comportamento da série, fazer estimativas e, por último, avaliar quais os fatores que influenciaram o comportamento da série, visando definir relações de causa e efeito entre duas ou mais séries. Para tanto, há um conjunto de técnicas estatísticas disponíveis que dependem do modelo decidido ou considerado para a série, bem como do tipo de série analisada e do objetivo do trabalho.

Séries temporais podem ser classificadas como contínuas ou discretas. Quando as observações são feitas continuamente no tempo a série é classificada como contínua. Definindo o conjunto  $T = \{t : t_1 < t < t_2\}$  a série temporal será denotada por  $\{X(t) : t \in T\}$ . Quando as observações são feitas em tempos específicos, geralmente equiespaçados, a série é classificada como discreta. Definindo o conjunto  $T = \{t_1, \dots, t_n\}$  a série temporal será denotada por  $\{X_t : t \in T\}$ . Por simplicidade pode-se fazer  $T = \{1, 2, \dots, n\}$  (EHLERS, 2009).

Dentre as diversas técnicas para análise de séries temporais destaca-se a metodologia proposta por Mann-Kendall, que é um teste não paramétrico, aplicado na análise de séries temporais, principalmente em séries compostas por dados que, não foram submetidos a nenhum parâmetro de aquisição e se sabe pouco ou nada sobre o comportamento desta série. Perante esse tipo de série aplica-se o teste de Mann-Kendall para definição da existência ou não de tendência significativa na série, sendo passível de estudos mais detalhados sobre seu comportamento quando o resultado do teste indique que a série apresenta tendência significativa, podendo se aplicar diferentes métodos para avaliar o comportamento destas séries (Mann, 1945; Kendall, 1975).

Para análise de tendências, pode se ajustar modelos de regressão polinomial baseados na série inteira ou em vizinhança de um determinado ponto. Para o caso de fenômenos sazonais, que ocorrem regularmente em períodos fixos

de tempo e, se existir sazonalidade dita determinística na série, podem-se utilizar modelos de regressão que incorporem funções do tipo seno ou cosseno à variável tempo (LATORRE; CARDOSO, 2001).

Vários estudos têm utilizado as séries históricas de dados meteorológicos para avaliação do clima e suas variações como, por exemplo, na análise de tendências: em dados de precipitação e temperatura no Brasil (SALVIANO; GROppo; PELLEGRINO, 2016), em séries de precipitação total mensal para localidades do Rio Grande do Sul (DA SILVA et al., 2016), em séries temporais climáticas de temperatura e precipitação (COSTA; FERREIA; CORDEIRO, 2015), em séries temporais de precipitação da bacia hidrográfica do Rio Mamanguape (SANTOS; ARAUJO; MARCELINO, 2015), em séries temporais de temperatura e precipitação de Tucuruí-Pará (RIBEIRO et al., 2015), de elevação de temperatura mínima do ar (BLAIN; PICOLI; LULU, 2009).

As pesquisas acima que utilizaram séries históricas de dados meteorológicos de temperatura do ar, com intuito de ampliar o conhecimento sobre o comportamento e a dinâmica das mudanças climáticas de cada região, apresentaram bons resultados para um melhor entendimento da variabilidade climática ao longo dos tempos das regiões estudadas, podendo oferecer modelos de previsão climática baseados nas tendências encontradas, sendo útil para diversas áreas do conhecimento. Desta forma, enfatiza-se a importância das análises de séries históricas para avaliação, e conhecimento sobre clima e suas variações.

## **2.5 Zoneamento bioclimático**

A bioclimatologia tem como objetivo empregar os conhecimentos sobre o clima em relação à interação com o ser humano (OLGYAY, 1968).

O território brasileiro tem seu clima mapeado, dividido em zonas bioclimáticas. Essas zonas são relacionadas às características climáticas das áreas

do território. A partir destes estudos e do seu respectivo mapa, pode se obter o clima de cada cidade, e relacioná-lo por de tabelas podendo assim definir estratégias e diretrizes construtivas bioclimáticas recomendadas para cada local.

Devido à grande extensão territorial do Brasil, ressalta-se que, podem existir diferentes zonas bioclimáticas dentro de um mesmo estado, como também podem existir zonas bioclimáticas que abrangem partes de vários e diferentes estados conforme NBR 152203 (ABNT, 2003, p. 2).

Muita importância tem sido dada à pesquisa bioclimática para definição do conforto térmico humano, em relação ao ambiente que estão expostos. Posteriormente, a verificação da condição climática da região estudada, vários projetos com a finalidade de melhorar o conforto térmico dos envolvidos vem sendo executados, principalmente em relação à arquitetura frente à natureza, existindo ainda uma carência de projetos que foquem em alternativas para trabalhadores rurais, que exercem atividades ao ar livre, enfatizando a necessidade de tais estudos.

Diversos estudos sobre conforto térmico no Brasil são focados na produtividade animal (AZEVEDO et al., 2005, AKYUZ; BOYACI; CAYLI, 2010, CARNEIRO et al., 2015, MENDES et al., 2014, NETO; NÄÄS, 2014, SOUZA; SILVA; SILVA, 2016, OLIVEIRA et al., 2006, YANAGI JUNIOR; XIN; GATES, 2001), porém, poucos são voltados para a avaliação do conforto térmico de trabalhadores em condições naturais (BURIOL et al., 2015; MORAIS; SILVA; CARAMORI, 2016, SANTOS; AMORIM; CAVALCANTE, 2014), evidenciando a necessidade do mapeamento do clima das regiões para mitigação de riscos e desenvolvimento de novas técnicas e métodos de trabalhos que proporcionem melhor produtividade do trabalhador.

O Zoneamento bioclimático de determinada região pode ser obtido por meio da aplicação da geoestatística, que segundo Yamamoto (2015), é um ramo da estatística espacial que auxilia no entendimento da aleatoriedade dos dados

espaciais, promovendo uma estruturação espacial, e gerando uma função de correlação espacial, que possibilita o georreferenciamento dos dados.

Após ser feito o georreferenciamento da região, é possível à realização do mapeamento espacial das disponibilidades climáticas observadas para cada região estudada, por meio dos dados adquiridos sobre as características climáticas de cada ponto estudado, sendo estes georreferenciados, possibilita uma visão espacial do território avaliado. Estes resultados são valiosos para diversos campos de estudo, como, ambiência humana e animal, saúde pública, construção civil, agricultura, pecuária, entre outros.

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Por afetar diretamente o conforto humano, o estudo do ambiente térmico por meio do zoneamento bioclimático é de fundamental importância. Por sua vez, as mudanças climáticas podem alterar significativamente o ambiente térmico aos quais os trabalhadores estão submetidos, causando redução do desempenho e podendo aumentar os riscos à saúde, como câimbras, insolações, problemas respiratórios, aumento da pressão arterial, infarto cardíaco, acidente vascular cerebral, entre outros. O conhecimento e a caracterização bioclimática das condições atuais e cenário futuro possibilita a busca de soluções para mitigação de possíveis problemas, tanto para o presente, quanto para cenários futuros.

**REFERÊNCIAS**

AKYUZ, A.; BOYACI, S.; CAYLI, A. Determination of critical period for dairy cows using temperature humidity index. **Journal of Animal and Veterinary Advances**, New York, v. 19, n. 13, p. 1824-1827, 2010.

ALCANTARA, C. R. et al. Aquecimento global ou variabilidade climática natural na microrregião de Juazeiro – BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Rio de Janeiro, v. 03, p. 572-585, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 152203**: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003.

AZEVEDO, M. et al. Estimation of upper critical levels of the temperature-humidity index for  $1/2$ ,  $3/4$  e  $7/8$  lactating Holstein-Zebu dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 2000-2008, 2005.

BELDING, H. S.; HATCH, T. F. Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strains. Heating, piping and air conditioning. **Journal Section**, New York, v. 27, n. 8, p. 129-36, 1955.

BLAIN, G. C.; PICOLI, M. C. A.; LULU, J. Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no Estado de São Paulo. **Instituto Agrônomo de Campinas**, Bragantina, v. 68, n. 3, p. 807-815, 2009.

BURIOL, G. A. et al. Human thermic comfort in Santa Maria, RS, Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 2, p. 223-230, 2015.

CARNEIRO, T. A. et al. Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 11, p. 1086-1092, 2015.

CARVALHO, J. L. R.; MACHADO, M. N. M.; MEIRELLES, A. M. Mudanças climáticas e aquecimento global: implicações na gestão estratégica de empresas do setor siderúrgico de Minas Gerais. **Cadernos EBAPE. BR**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 220-244, 2011.

COSTA, V. J.; FERREIRA, M.; CORDEIRO, M. T. A. Análise de séries temporais climáticas. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 14, n. 2, p. 169-177, 2015.

DA SILVA, G. M. et al. Tendência de séries de precipitação total mensal para localidades do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, Pelotas, v. 1, n. 1, p. 13-22, 2016.

EHLERS, R. S. **Análise de séries temporais**: laboratório de estatística e geoinformação. 5. ed. [S.l.]: Universidade Federal do Paraná, 2009. 118 p.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1970. 244 p.

FRANÇA, M. S. et al. Estimativa de índices de conforto térmico na cidade de Cuiabá/MT. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 16, n. 55, p. 141-155, 2015.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003. 245 p.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 4. ed. London: Charles Griffin, 1975. 210 p.

LATORRE, M. R. D. O; CARDOSO, M. R. A. Análise de séries temporais em epidemiologia: uma introdução sobre os aspectos metodológicos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 145-152, 2001.

MANN, H. B. Nonparametric test against trend. **Econometrika**, United States, v. 13, p. 245-259, 1945.

MARCOTT, S. A. et al. A reconstruction of regional and global temperature for the past 11.300 years. **Science**, New York, v. 339, n. 6124, p. 1198-1201, 2013.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil**. [S.l.]: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS, 2010. 73 p.

MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of Climatology**, v. 28, n. 7, p. 893–904, 2008.

MENDES, A. M. P. et al. Zoneamento bioclimático para a raça ovina Dorper no Estado de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 12, p. 986-993, 2014.

MORAIS, H.; DA SILVA, R. W.; CARAMORI, P. H. Conforto térmico humano no Estado do Paraná. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 3, n. 9, p. 271-278, 2016.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Previsão de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Atual, 1985. 544 p.

NETO, M. M.; NÄÄS, I. D. A. Software de agricultura de precisão para monitorar parâmetros ambientais de conforto térmico na bovinocultura de leite. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v. 8, n. 2, p. 112-127, 2014.

NOBREGA, S. N.; LEMOS, T. V. S. O microclima e o (des)conforto térmico em ambientes abertos na cidade do Recife. **Revista de Geografia (UFPE)**, Recife, v. 28, n. 1, p. 93-109, 2011.

OLGYAY, V. **Clima y arquitetura en Colombia**. 1. ed. [S.l.]: Colombia Universidad del Vale, 1968. 240 p.

OLIVEIRA, L. D. et al. Zoneamento bioclimático da região Sudeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 823-831, 2006.

RIBEIRO, R. E. P. et al. Análise da tendência climática nas séries temporais de temperatura e precipitação de Tucuruí-Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 5, p. 798-807, 2015.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate: the biological environment**. 1. Ed. New York: Wiley-Interscience, 1983. 495 p.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Trends analysis of precipitation and temperature data in Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016.

SANTOS, E. C. A.; ARAÚJO, L. E.; MARCELINO, A. S. Análise climática da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 1, p. 9-14, 2015.

SANTOS, J. B.; AMORIM, R. F. C.; CAVALCANTE, L. P. A. Análise do conforto térmico humano no município de Arapiraca–Alagoas: utilizando software matlab. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 5, p. 939-948, 2014.



SOUZA, A. et al. Um estudo de conforto e desconforto térmico para o Mato Grosso do Sul. **Revista de Estudos Ambientais (online)**, Blumenau, v. 12, n. 2, p. 15-25, 2010. Disponível em: <<http://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/1698/1447>>. Acesso em: 18 de fevereiro de 2016.

SOUZA, B. B.; SILVA, G. A.; SILVA, E. M. N.; Índice de conforto térmico para vacas leiteiras em diferentes microrregiões do estado da Paraíba, Brasil. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, Mossoro, v. 4, n. 1, p. 12-16, 2016.

STEADMAN, R. G. The assessment of Sultriness. Part I: a temperature humidity index based on human physiology and clothing science. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 18 n. 7, p. 861-873, 1979.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, Boston, v. 12, n. 1, p. 57-60, 1959.

YAGLOU, C. P.; MINARD, D. Control of heat casualties at military training centers. **Archives of Industrial Health**, Chicago, v. 16, n. 4, p. 302-316, 1957.

YAMAMOTO, J. K.; PAULO, M. B. L. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015, 215 p.

YANAGI JUNIOR, T.; XIN, H.; GATES, R. S. Thermal discomfort index for laying hens. In: **94<sup>th</sup> ASAE Annual international meeting: ASAE**, Sacramento, v. 18, n. 2, p. 1-16, 2001.

## **SEGUNDA PARTE**

**ARTIGO:** Análise de tendência do índice de temperatura e umidade (ITU) no Estado de Minas Gerais, Brasil

Artigo a ser submetido à Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.

Artigo formatado de acordo com as normas da revista.

**Análise de tendência do índice de temperatura e umidade (ITU) no  
Estado de Minas Gerais, Brasil**

**Resumo:** Objetivou-se com a presente pesquisa, propor um zoneamento bioclimático para classificar o conforto e desconforto térmico de trabalhadores rurais no Estado de Minas Gerais, considerando um período histórico e um cenário futuro. Séries históricas de dados mensais do período de (1976-2014) de índice de temperatura e umidade (ITU) mínimo, médio e máximo, determinados a partir de valores médios mensais de temperatura (mínima, média e máxima) e umidade relativa do ar de 48 estações meteorológicas localizadas no Estado de Minas Gerais foram usadas para análise de tendências por meio do teste de Mann-Kendall e regressão linear. O zoneamento bioclimático do conforto humano, obtido por meio de análise geoestatística, foi desenvolvido em função dos valores de ITU mínimo, médio e máximo para o período histórico (1976-2014) e o cenário futuro (2024). Os resultados indicam a tendência geral de aumento das condições de desconforto térmico nas diversas mesorregiões do Estado de Minas Gerais nas estações do ano, sendo mais incisivas no verão e primavera.

**Palavras-chave:** conforto térmico humano, séries temporais, biometeorologia humana

**Trend analysis of Temperature-Humidity Index (THI) in the state of  
Minas Gerais, Brazil**

**Abstract:** The aim of the present research was to propose a bioclimatic mapping to classify the thermal comfort and discomfort of rural workers within the state of Minas Gerais, considering a historical and future scenarios. Monthly historical series (1976-2014) of minimum, medium and maximum temperature-humidity index (THI), determined through the values of air temperature (minimum, medium and maximum) and relative humidity from 48 weather stations located in the state of Minas Gerais were used to analyze the trends through Mann-Kendall and linear regression analysis. The bioclimatic mapping of human comfort, obtained via geostatistical analysis, was developed in function of the minimum, medium and maximum THI for the historical period (1976-2014) and future scenario (2024). Results indicate an overall trend of increasing in thermal discomfort conditions throughout the mesoregions of the state of Minas Gerais during the weather seasons, being more incisive in summer and spring.

**Key words:** human thermal comfort, time series, human biometeorology.

## INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas podem gerar eventuais impactos negativos sobre os seres humanos, em especial, nos trabalhadores que atuam em algumas atividades do agronegócio que exigem maior atividade metabólica. Impactos do ambiente térmico sobre os humanos têm sido amplamente estudados devido aos efeitos maléficos sobre o desempenho e saúde (Quan et al., 2014) e, em condições extremas, levando à morte (Loughnan et al., 2010).

Em condições de estresse por calor, os humanos apresentam alterações nos parâmetros fisiológicos, tais como, aumentos da frequência cardíaca, da temperatura corporal, da pressão sanguínea e da produção de suor (Shen & Zhu, 2015). Desordens relacionadas ao calor, como insolação, câimbras e exaustão também foram reportadas (Zheng et al., 2012). Condições extremas de estresse por frio também causam problemas à saúde (McMichael et al., 2006).

Índices do ambiente térmico têm sido usados para gerar mapas bioclimáticos aplicados à análise do efeito do ambiente externo sobre os humanos (Park et al., 2014). Dentre os diversos índices, o índice de temperatura e umidade (ITU) (Thom, 1959) tem sido amplamente usado

para classificar o nível de conforto térmico de humanos, tendo em vista a facilidade de obtenção dos dados meteorológicos usados como entrada na equação.

Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho, propor um zoneamento bioclimático para classificar o conforto e desconforto térmico de trabalhadores rurais no Estado de Minas Gerais, por meio do índice de temperatura e umidade (ITU), considerando um período histórico e um cenário futuro.

## **MATERIAL E METÓDOS**

### **Banco de dados meteorológicos**

Para o desenvolvimento do zoneamento bioclimático do conforto humano para o Estado de Minas Gerais foram usados dados de 48 estações meteorológicas convencionais situadas no Estado de Minas Gerais pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 1). O banco de dados é composto pelos valores médios mensais de temperaturas de bulbo seco mínima, média e máxima do ar ( $t_{bs,mín}$ ,  $t_{bs,méd}$  e  $t_{bs,máx}$ , respectivamente) e da umidade relativa do ar (UR).

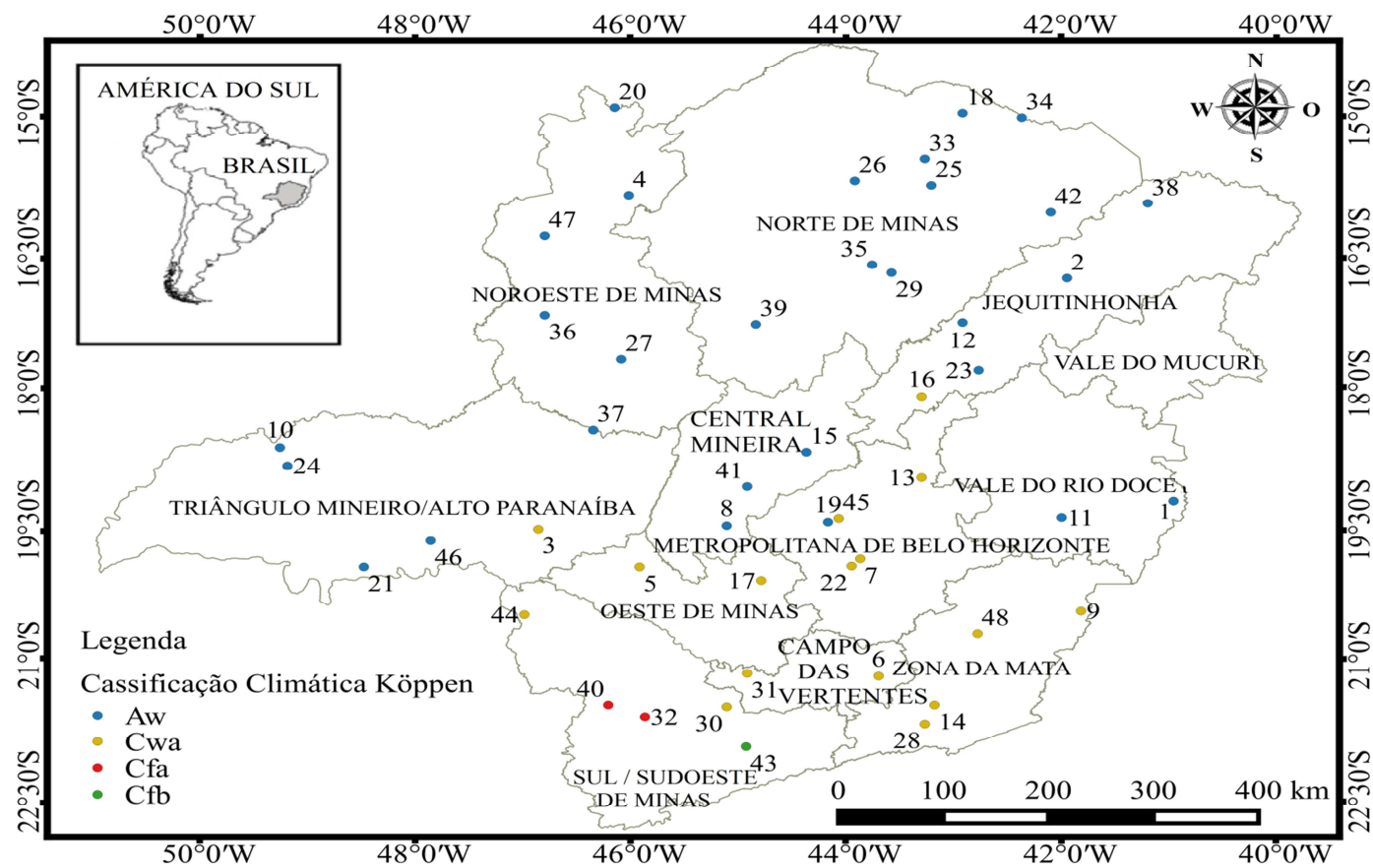


Figura 1. Localização das estações meteorológicas utilizadas no presente estudo.

O Estado de Minas Gerais possui área de aproximadamente 7% do território brasileiro, com 582.586 km<sup>2</sup> e ampla variabilidade climática (Tonietto et al., 2006). Os valores médios de precipitação anual variam de 700 a 1.100 mm nas regiões mais secas (norte, nordeste e leste) e de 1.200 a 1.500 mm nas regiões mais chuvosas (sul, triângulo mineiro, noroeste e Serras de Espinhaço e da Mantiqueira) (Mello & Viola, 2013). Nas regiões mais baixas do norte e leste do Estado as temperaturas médias mensais alcançam valores de 27°C, enquanto que, nas regiões mais altas são observados valores em torno de 13°C.

As estações meteorológicas convencionais utilizadas neste trabalho estão listadas na Tabela 1, sendo que, as séries históricas de  $t_{bs,mín}$ ,  $t_{bs,méd}$ ,  $t_{bs,máx}$  e UR foram de 39 anos, compreendendo o período de 1976 a 2014.

### **Determinação do índice de temperatura e umidade**

O índice de temperatura e umidade (ITU, adimensional) (Thom, 1958) foi calculado por meio da equação 1 com base nos valores de  $t_{bs,mín}$ ,  $t_{bs,méd}$ ,  $t_{bs,máx}$  (°C) e temperatura do ponto de orvalho ( $t_{po}$ , °C). A  $t_{po}$  foi



determinada pela equação 2 (Vianello & Alves, 2012) em função da pressão real do vapor d'água ( $e$ , hPa).

$$ITU = t_{bs} + 0,36 \cdot t_{po} + 41,5 \quad (1)$$

$$t_{po} = (186,4905 - 237,3 \log e) / (\log e - 8,2859) \quad (2)$$

Tabela 1. Estações meteorológicas convencionais utilizadas e suas respectivas altitudes.

Nº	Estação	Alt. (m)	Nº	Estação	Alt. (m)
1	Aimorés	83	25	Janaúba	516
2	Araçuaí	289	26	Januária	474
3	Araxá	1.024	27	João Pinheiro	760
4	Arinos	519	28	Juiz de Fora	940
5	Bambuí	661	29	Juramento	648
6	Barbacena	1.126	30	Lambari	878
7	Belo Horizonte	915	31	Lavras	919
8	Bom Despacho	695	32	Machado	873
9	Caparaó	843	33	Mocambinho	452
10	Capinópolis	620.6	34	Monte Azul	625
11	Caratinga	610	35	Montes Claros	652
12	Carbonita	736	36	Paracatu	712
13	C do Mato Dentro	652	37	Patos de Minas	940
14	Coronel Pacheco	435	38	Pedra Azul	649
15	Curvelo	672	39	Pirapora	505
16	Diamantina	1.296	40	Poços de caldas	1.196
17	Divinópolis	788	41	Pompéu	691
18	Espinosa	597	42	Salinas	471
19	Florestal	749	43	São Lourenço	953
20	Formoso	840	44	São S. do Paraiso	820
21	Frutal	544	45	Sete Lagoas	732
22	Ibirité	815	46	Uberaba	737
23	Itamarandiba	1.097	47	Unai	460
24	Ituiutaba	560	48	Viçosa	712

N.: número da estação meteorológica. Alt.: altitude da estação.

### **Análise de tendência da série histórica**

As tendências das séries históricas de  $ITU_{\min}$ ,  $ITU_{\text{méd}}$ ,  $ITU_{\max}$  em um período de 39 anos, para cada estação estudada, foram verificadas por meio do teste não paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), proposto por Sneyers (1975), e da análise de regressão linear, metodologias comumente usadas por diversos autores (Minuzzi, 2010; Ávila et al., 2014; Tian et al., 2016).

O teste não paramétrico de Mann-Kendall considera que, havendo estabilidade da série temporal (Hipótese  $H_0$ ), a sucessão de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade permanece inalterada (série aleatória simples).

Uma série temporal apresentará tendência de aumento ou decréscimo de uma determinada variável se o valor do coeficiente de Mann-Kendall for positivo ( $MK > 0$ ) ou negativo ( $MK < 0$ ), respectivamente. Para tanto, dever-se-á aplicar o teste Z ao nível de 5% de significância, que fornece  $Z_{0,975} = 1,96$ . Rejeita-se  $H_0$  se o teste de Mann-Kendall,  $|MK| > Z_{1-\alpha/2}$ , for maior que 1,96, indicando tendência significativa na série temporal de dados (Avila et al., 2014). A estatística S foi determinada pela equação 3, em que, n é o número de observações,

$X_j$  e  $X_i$  são os valores sequenciais dos dados e  $\text{sgn}(\phi)$  é a função de sinal. A função de sinal assume valor de 1 se  $\phi > 0$ ; 0 se  $\phi = 0$ ; e -1 se  $\phi < 0$ .

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (3)$$

Segundo Kendall (1975), adotando-se a hipótese de que os dados são identicamente distribuídos e independentes, a média e a variância da estatística  $Z$  são dadas pelas equações 4 e 5, respectivamente. O  $m$  é o número de grupos de classificação associados, cada um associado a um  $t_i$ , que corresponde aos valores de ITU das séries históricas de  $ITU_{\text{mín}}$ ,  $ITU_{\text{méd}}$ ,  $ITU_{\text{máx}}$ .

$$E(S) = 0 \quad (4)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n \cdot (n - 1) \cdot (2 \cdot n + 5) - \sum_{i=1}^m t_i \cdot (t_i - 1) \cdot (2 \cdot t_i + 5)}{18} \quad (5)$$

O valor de  $Z$  pode ser calculado da seguinte forma:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

A análise de regressão linear foi aplicada para se obter as tendências por meio do teste paramétrico de significância  $t$  sobre o coeficiente angular ( $\beta$ ) (Longobardi & Villani, 2010). Este teste

considerou a regressão linear entre a variável aleatória Y (série de ITU) e o tempo(X). A tendência para um período de 10 anos (2024) foi calculada por meio das equações lineares ajustadas, multiplicando  $\beta$  por 10.

### **Zoneamento bioclimático**

O zoneamento bioclimático foi realizado por meio da geração de mapas de intervalos de  $ITU_{\text{mín}}$ ,  $ITU_{\text{méd}}$  e  $ITU_{\text{máx}}$  para o Estado de Minas Gerais considerando o período histórico de 1976 a 2014, com indicação das tendências para 2024, uma década após o final da série histórica de dados.

As análises estatísticas e regressão lineares foram realizadas pelo programa R (R Development Core Team, 2014). A geração dos mapas foram feitas por meio do programa ArcGIS for Desktop 10.4, por meio de suas extensões Spatial Analyst e Geostatistical Analyst. A dependência espacial do ITU no Estado de Minas Gerais foi analisada por meio do ajuste de semivariogramas usando o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS) ajustando-se o modelo esférico, sendo a interpolação realizada por meio da krigagem ordinária (Ferraz et al., 2015).

As zonas de conforto e desconforto térmico para trabalhadores rurais foram definidas considerando que os trabalhadores rurais exercem

atividades moderadas, com taxa metabólica de 175 W, trabalhando em pé, com movimentação de braços e pernas e a utilização de vestimentas leves, ou seja, com resistência térmica de  $0,09 \text{ } ^\circ\text{C W m}^{-2}$  (Oliveira et al., 2006).

Os ambientes térmicos foram classificados como conforto ( $\text{ITU} < 74$ ), quente ( $74 \leq \text{ITU} < 79$ ), muito quente ( $79 \leq \text{ITU} < 84$ ) e extremamente quente ( $\text{ITU} \geq 84$ ) (Lamberts et al., 1997; Oliveira et al., 2006). O desconforto térmico inicia-se no ambiente quente e pode causar problemas de saúde e redução no rendimento de trabalhadores rurais. O ambiente muito quente indica perigo e pode trazer efeitos graves à saúde e o ambiente extremamente quente pode causar riscos muito graves à saúde.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A distribuição espacial dos valores médios históricos (1976-2014) de  $\text{ITU}_{\text{mín}}$  e  $\text{ITU}_{\text{méd}}$  indicam que o ambiente térmico em quase todas as estações do ano foram classificados como situação de conforto ( $\text{ITU} < 74$ ), exceto para a primavera. Nesta estação, o  $\text{ITU}_{\text{méd}}$  em parte da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e parte da divisa das mesorregiões do Noroeste e Norte de Minas Gerais apresentaram valores no intervalo entre 74 e 79, caracterizando a região como quente (Figura 2).

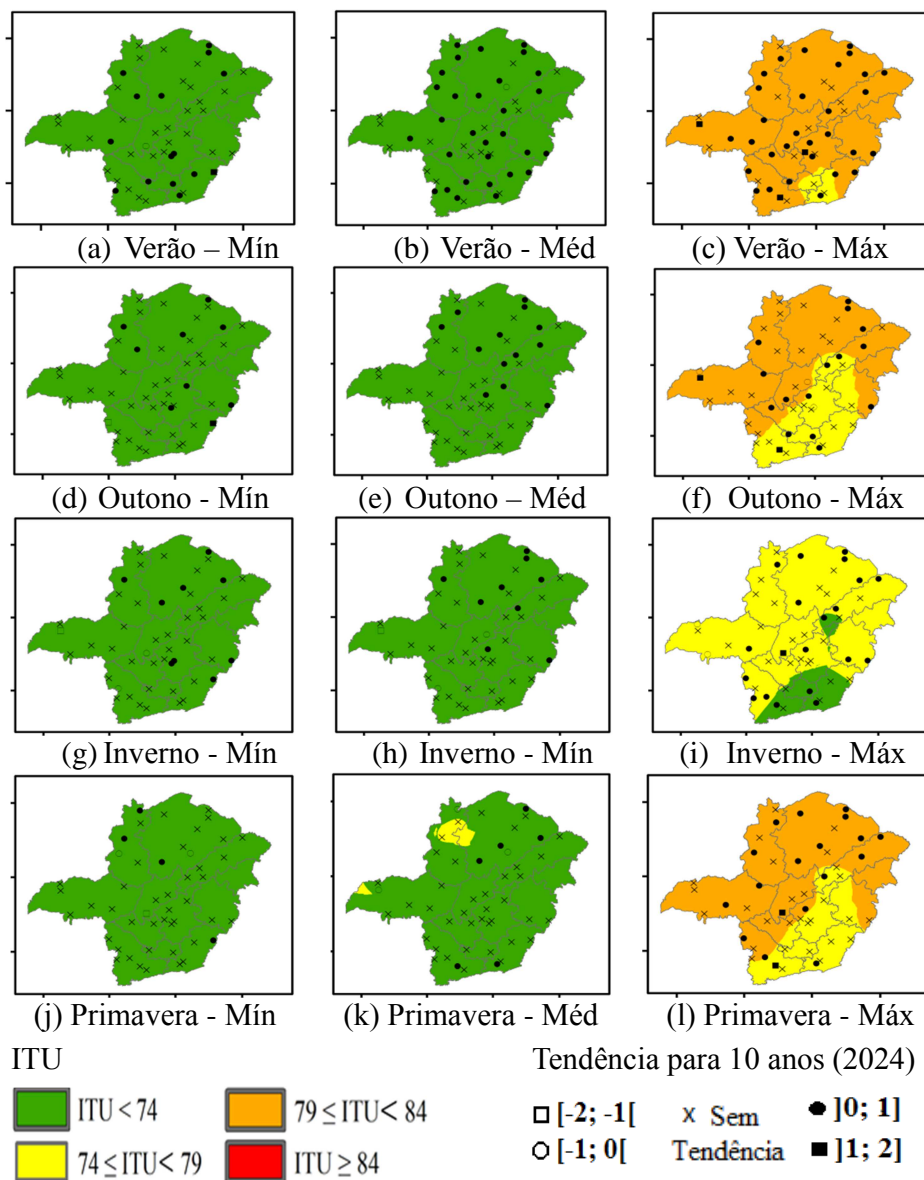


Figura 2. Variação do índice de temperatura e umidade (ITU) mínimo, médio e máximo, para o período de 1976 a 2014, nos municípios avaliados no Estado de Minas Gerais, e respectivas tendências de ITU para uma década, ano de 2024.

Com relação aos valores médios históricos de  $ITU_{máx}$ , pode-se observar que apenas durante o período de inverno (Figura 2i), parte das mesorregiões do Sul/Sudoeste de Minas, Campos das Vertentes, Zona da Mata, Oeste de Minas e Metropolitana de Belo Horizonte, Jequitinhonha e Vale do Rio Doce apresentaram condições de conforto ( $ITU < 74$ ). As demais mesorregiões foram classificadas como quentes ( $74 \leq ITU < 79$ ) ou muito quentes ( $79 \leq ITU < 84$ ) para inverno e demais estações do ano. As áreas muito quentes se expandiram ao longo das estações do ano, a partir do inverno ao verão diminuindo no outono (Figuras 2c, 2f, 2i, 2l), similarmente ao observado por Oliveira et al. (2006).

Desta forma, períodos com condições térmicas classificadas como quentes ( $74 \leq ITU < 79$ ) e ou muito quentes ( $79 < ITU \leq 84$ ) foram observadas em todas as estações no Estado de Minas Gerais para o  $ITU_{máx}$ , corroborando com Oliveira et al. (2006). Assim, problemas leves ou graves de saúde, além da redução no desempenho dos trabalhadores rurais são esperados. Ressalta-se que, variações horárias do ITU podem causar situações de desconforto térmico (Buriol et al., 2015), intensificando o desconforto.

A classificação de conforto verificada para o  $ITU_{\min}$  nas quatro estações do ano no período histórico (1976-2014) não se alterou em 2024 (Figura 3), apesar de se observar tendências de aumento e redução destes valores (Figuras 2a, 2d, 2g, 2j).

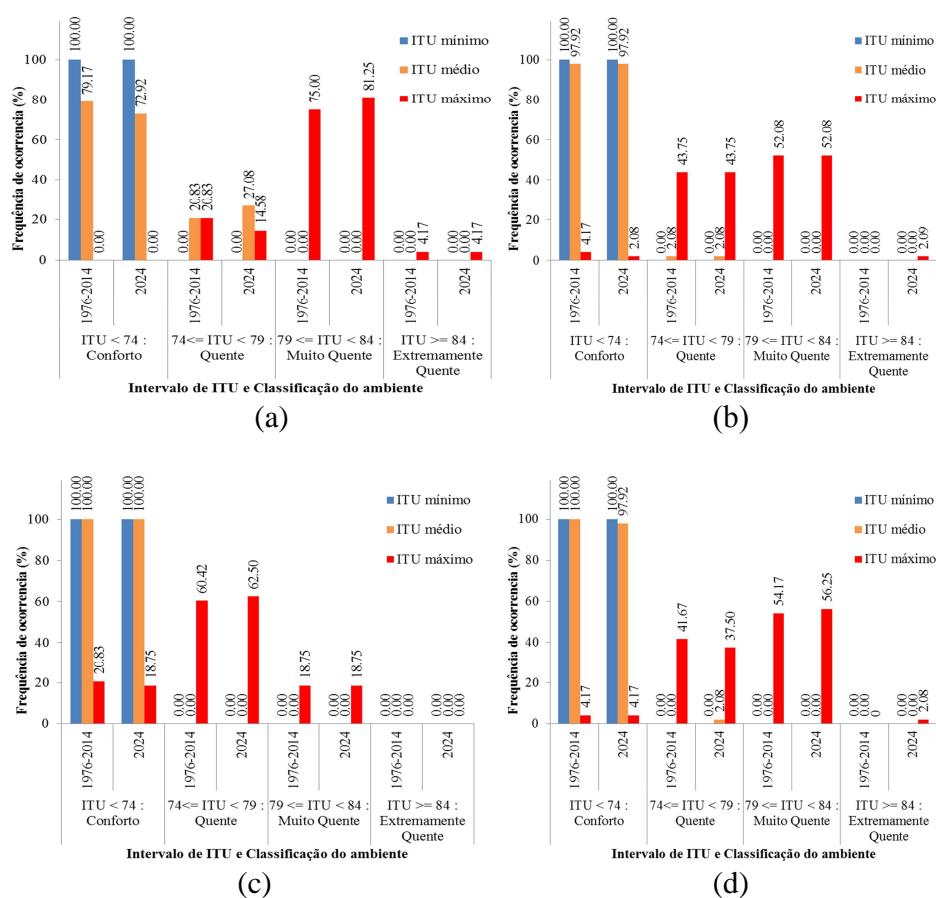


Figura 3. Variação da frequência de ocorrência de  $ITU_{\min}$ ,  $ITU_{\text{méd}}$  e  $ITU_{\text{máx}}$  nas estações do (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera, para o período de 1976 a 2014 e para o ano de 2024, nos municípios avaliados no Estado de Minas Gerais.



As reduções das frequências de ocorrência da condição classificada como de conforto para o  $ITU_{méd}$  nas estações de verão, outono, inverno e primavera foram de 6,25%, 0,00%, 0,00% e 2,08%, respectivamente. Estas percentagens de redução foram acrescidas conseqüentemente à condição do ambiente térmico classificada como quente (Figura 3). Redução em 6,25% da situação classificada como quente e aumento da muito quente foi verificada para o  $ITU_{máx}$  (Figura 3a) na estação de verão.

No outono, observou-se redução das ocorrências de valores de  $ITU_{máx}$  para as condições de conforto de 2,09 (Figura 3b). Conseqüentemente, observou-se o aumento de 2,09% da classificação extremamente quente para o  $ITU_{máx}$  ao se comparar o cenário de 2024 ao período histórico (1979-2014).

A análise de tendência indica, no geral, o aumento das frequências de ocorrência da classificação quente nas estações de verão e primavera para o  $ITU_{méd}$  e  $ITU_{máx}$ , quando se compara do cenário 2024 ao período histórico (1979-2014). Por sua vez, verificou-se o aumento da condição extremamente quente no outono e primavera. Este comportamento devido às mudanças climáticas aumenta o desconforto humano

especialmente no verão, outono e primavera, nos quais os somatórios das frequências de ocorrência de  $ITU_{máx}$  classificados como muito quentes e extremamente quentes são de 85,42%, 54,16% e 58,33%, (Figura 3) respectivamente. O aumento do desconforto humano em função das mudanças climáticas também foi verificado por Potchter & Ben-Shalom (2013).

Zhang et al. (2014) recomendaram os limites superiores de  $t_{bs}$  e UR de 29,2°C e 50% ( $ITU = 77,1$ ) e de 28,0°C e 70% ( $ITU = 77,4$ ) para que 90% das pessoas estejam satisfeitas em espaços de circulação em uma área quente e úmida da China. O nível de satisfação de 73% foi obtido para  $t_{ar}$  e UR de 31,0°C e 50% ( $ITU = 79,5$ ) e de 29,5°C e 70% ( $ITU = 79,4$ ).

Alterações no ambiente térmico estão relacionadas ao declínio da capacidade de trabalho (Dunne et al., 2013) e ao aumento de incidência de doenças cardiovasculares (Ezekowitz et al., 2013) e mentais (Vaneckova et al., 2013). A ausência de ações para mitigação do ambiente térmico sobre os humanos pode causar redução do desempenho e aumento de doenças, situação que pode se agravar com as mudanças climáticas.

Em face das condições climáticas atuais e a tendência para o futuro, estratégias para mitigação dos efeitos térmicos do ambiente sobre os humanos deverão ser analisadas, tais como a escolha da vegetação no projeto paisagístico urbano ou rural (Lee et al., 2016), escolha de materiais (Ragheb et al., 2016), à demanda de energia para aquecimento ou resfriamento (Van Hove et al., 2015), à concepção da construção, à escolha dos materiais, dentre outras. Estes conhecimentos são fundamentais para estudos relacionados à redução e adaptação às mudanças climáticas (Hjort et al., 2016).

## CONCLUSÃO

1. O Zoneamento bioclimático do índice de temperatura e umidade (ITU) para o estado de Minas Gerais indicou a ocorrência de condições quentes ( $74 \leq ITU < 79$ ) ao se analisar o  $ITU_{méd}$  no verão e outono e condições muito quentes ( $79 < ITU \leq 84$ ) e extremamente quente ( $ITU > 84$ ) para o  $ITU_{máx}$  ao longo do ano, exceto no inverno.
2. A análise de tendência aplicada às séries temporais indicam agravamento destas condições em 2024.

**AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), à FAPEMIG, pela bolsa de estudos e a CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- Ávila, L. F.; Mello, C. R.; Yanagi, S. N. M.; Neto, O. B. S. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, n. 4, p. 247-256, 2014.
- Buriol, G. A.; Estefanel, V.; Righi, E. Z.; Bressan, V. C. Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. *Ciência Rural*, v. 45, n. 2, p. 223-230, 2015.
- Dunne, J. P.; Stouffer, R. J.; Hohn, J. G. Reductions in labour capacity from heat stress under climate warming. *Nature Climate Change*, v. 3, n. 6 p.563-566, 2013.
- Ezekowitz, J. A.; Bakal, J. A.; Westerhout, C. M.; Giugliano, R. P.; White, H.; Keltai, M.; Prabhakaran, D.; Tricoci, P.; Werf, F. V. de; Califf, R. M.; Newby, L. K.; Armstrong, P. W. The relationship between meteorological conditions and index acute coronary events in a global clinical trial. *International Journal of Cardiology*, v. 168, n. 3, p. 2315-2321, 2013.

- Ferraz, G. A. S.; Silva, F. M. Oliveira, M. S.; Avelar, R. C.; Sales, R. S. Variabilidade espacial da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O para adubação diferenciada e convencional em lavoura cafeeira. *Coffee Science*, v. 10, n. 3, p. 346 - 356, 2015.
- Hjort, J.; Suomi, J.; Käyhkö, J. Extreme urban-rural temperatures in the coastal city of Turku, Finland: Quantification and visualization based on a generalized additive model. *Science of the Total Environment*, v. 569, p. 507–517, 2016.
- Kendall, M. G. Rank correlation methods. London: Charles Griffin, 1975, 210p.
- Lamberts, R.; Dutra, L.; Pereira, F. O. R. Eficiência energética na arquitetura. São Paulo: PW, 1997, 192p.
- Lee, H.; Mayer, H.; Chen, L. Contribution of trees and grasslands to the mitigation of human heat stress in a residential district of Freiburg, Southwest Germany. *Landscape and Urban Planning*, v. 148, p. 37-50, 2016.
- Longobardi, A.; Villani, P. Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. *International Journal of Climatology*, v. 30, n. 10, p. 1538-1546, 2010.

- Loughnan, M.; Nicholls, N.; Tapper, N. Mortality-temperature thresholds for ten major population centres in rural Victoria, Australia. *Health & Place*, v. 16, n. 6, p. 1287-1290, 2010.
- Mann, H. B. Nonparametric test against trend. *Econometrica*, v. 13, p. 245-259, 1945.
- McMichael, A. J.; Woodruff, R. E.; Hales, S. Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet*, v. 367, n. 9513, p. 859-869, 2006.
- Mello, C. R., Viola, M. R., da Silva, A. M., & de Mello, J. M. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 1, p. 37-44, 2013.
- Minuzzi, R. B. Tendências na variabilidade climática de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 12, p. 1288-1293, 2010.
- Oliveira, L. M. F. de; Yanagi Junior, T.; Ferreira, E.; Carvalho, L. G. de; Silva, M. P. da. Zoneamento bioclimático da região Sudeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. *Engenharia Agrícola*, v. 26, n. 3, p. 823-831, 2006.

- Park, S.; Tuller, S. E.; Jo, M. Application of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for microclimatic analysis in urban thermal environments. *Landscape and Urban Planning*, v. 125, p. 146-155, 2014.
- Potchter, O.; Ben-Shalom, H. I. Urban warming and global warming: Combined effect on thermal discomfort in the desert city of Beer Sheva, Israel. *Journal of Arid Environments*, v. 98, p. 113-122, 2013.
- Quan, O. C.; Jun, Y.; Qun, O. Q.; Zhang, L. H.; Zhen, L. G.; Yan, C. P.; Ming, G. Y. The impact of relative humidity and atmospheric pressure on mortality in Guangzhou, China. *Biomedical and Environmental Sciences*, v. 27, n. 12, p. 917-925, 2014.
- R Development Core Team. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for statistical computing, 2014. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 22 Ago. 2014.
- Ragheb, A. A.; El-Darwish, I. I.; Ahmed, S. Microclimate and human comfort considerations in planning a historic urban quarter. *International Journal of Sustainable Built Environment*, v. 5, n. 1, p. 156-167, 2016.



- Shen, D.; Zhu, N. Influence of the temperature and relative humidity on human heat acclimatization during training in extremely hot environments. *Building and Environment*, v. 94, p. 1-11, 2015.
- Sneyers, R. *Sur L' analyse statistique des séries d' observations*. Genève: Organization Météorologique Mondial, 1975, 192p.
- Thom, E. C. Cooling degree: day air conditioning, heating, and ventilating. *Transactions of the ASHRAE*, v. 55, p. 65-72, 1958.
- Thom, E. C. The discomfort index. *Weatherwise*, v. 12, n. 1, p. 57-60, 1959.
- Tian, Q.; Prange, M.; Merkel, U. Precipitation and temperature changes in the major Chinese river basins during 1957–2013 and links to sea surface temperature. *Journal of Hydrology*, v. 536, p. 208-221, 2016.
- Tonietto, J.; Vianello, R. L.; Regina, M. A. Caracterização macroclimática e potencial enológico de diferentes regiões com vocação vitícola de Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, v. 27, p. 32-55, 2006.

- Van Hove, L. W. A.; Jacobs, C. M. J.; Heusinkveld, B. G.; Elbers, J. A.; van Driel, B. L.; Holtslag, A. A. M. Temporal and spatial variability of urban heat island and thermal comfort within the Rotterdam agglomeration. *Building and Environment*, v. 83, p. 91-103, 2015.
- Vaneckova, P.; Bambrick, H. Cause-specific hospital admissions on hot days in Sydney, Australia. *PLoS ONE*, v. 8, p. 1-9, 2013.
- Vianello, R. L.; Alves, A. R. *Meteorologia básica e aplicações*. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2012. 460 p.
- Zhang, Y.; Zhang, J.; Chen, H.; Du, X.; Meng, Q. Effects of step changes of temperature and humidity on human responses of people in hot-humid area of China. *Building and Environment*, v. 80, p. 174-183, 2014.
- Zheng, G.; Zhu, N.; Tian, Z.; Chen, Y.; Sun, B. Application of a trapezoidal fuzzy AHP method for work safety evaluation and early warning rating of hot and humid environments. *Safety Science*, v. 50, n. 2, p. 228-239, 2012.