



Estudo de Correlações entre Parâmetros Meteorológicos, Óbitos e Hospitalizações associados a Doenças Cardiovasculares em Campinas no período de 2001 a 2018

Júlia Perassolli De Lázari*, Ana Maria Heuminski de Avila†, Eliana Cotta de Faria‡, Paula Dornhofer Paro Costa*

*Depto. Eng. de Computação e Automação (DCA), Faculdade de Eng. Elétrica e de Computação (FEEC)

†Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI)

‡Depto. de Patologia Clínica, Faculdade de Ciências Médicas (FCM)

Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

Campinas, Brasil

e-mail: j200298@dac.unicamp.br, paulad@unicamp.br

Resumo—As mudanças climáticas têm impactos diretos na saúde humana. O estudo destes impactos visa possibilitar a proposta de estratégias de mitigação e adaptação. Neste trabalho, conduziu-se um análise exploratória das associações entre parâmetros meteorológicos e desfechos cardiovasculares por meio da simples análise de correlação de Pearson. Os parâmetros meteorológicos estudados foram temperatura mínima e máxima, amplitude térmica, pressão atmosférica média, umidade mínima e máxima e variação de umidade. Os desfechos cardiovasculares analisados foram óbitos e hospitalizações. Todos os dados são referentes à cidade de Campinas (estado de São Paulo, Brasil). Os resultados apontaram forte correlação (acima de 0,7) entre o número de hospitalizações e os parâmetros meteorológicos de temperatura mínima e pressão atmosférica média. Uma correlação moderada (entre 0,5 e 0,7) foi encontrada entre o número de hospitalizações e a amplitude térmica. Os óbitos apresentaram correlação muito forte com a temperatura mínima (acima de 0,9) e correlação forte para os demais parâmetros.

Palavras-chave—Ciência de dados, doenças cardiovasculares, vulnerabilidade climática

I. INTRODUÇÃO

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) aponta para o aumento da ocorrência e intensidade de eventos climáticos extremos e para o papel indiscutível da atividade humana na mudança do clima [1]. Essas mudanças afetam uma grande variedade de sistemas físicos e ecológicos naturais e representam uma ameaça à saúde humana em níveis globais [2].

Estudos já mostram associações entre admissões por doenças cardiovasculares e temperaturas fora da “zona de

conforto”, isto é, mais frias ou quentes que a média [3]. Bai et al. analisaram hospitalizações por doenças cardiovasculares entre 1996 e 2013 em Ontário e encontraram riscos mais altos associados a extremos de temperatura para doenças cardíacas coronárias e associados a temperaturas baixas para infartos agudos [4]. Onozuka et al. realizaram uma pesquisa em nível nacional no Japão que analisou paradas cardíacas fora do hospital. Os pesquisadores encontraram um risco relativo de 2,10 (95% CI: 1,84 - 2,40) para temperaturas extremamente baixas e de 1,06 (95% CI: 1,01 - 1,12) para temperaturas extremamente elevadas [5].

Pressão atmosférica e umidade do ar também são fatores de risco. Um estudo realizado em Guangzhou, China por Ou et al., apontou riscos associados a baixa umidade do ar e baixa pressão atmosférica. A mortalidade cardiovascular aumentou em 2,27% (CI: 0,07% - 4,51%), ao se comparar o percentil 5 e 25 de pressão atmosférica, e em 3,97% (CI: 0,67% - 7,39%) ao se comparar esses percentis de umidade relativa [6]. Uma diminuição de 10 hPa para pressões menores que 1016 hPa e um aumento de 10 hPa para pressões maiores que 1016 hPa foram associados a um aumento de 12% e 11%, respectivamente, no número de mortes por doenças cardiovasculares na pesquisa de Danet et al. [7]. Um estudo realizado nos Estados Unidos por Barreca et al. entre 1973 e 2002 encontrou que dias quentes e úmidos resultaram em uma maior mortalidade, além de ressaltar a importância de se considerar a umidade relativa do ar nos modelos [8].

No entanto, os efeitos do clima saúde humana se dão de maneira diversa nas diferentes regiões do planeta e de cada país, devido a fatores socioeconômicos, acesso a recursos tecnológicos e também plasticidade fenotípica (capacidade de

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), projeto número 2020/10041-0

um ser vivo se adaptar às características ambientais de seu habitat) [9], [10]. Desse modo, é fundamental estudar estes impactos de maneira regionalizada para o estabelecimento de estratégias de mitigação e adaptação mais adequados.

Com foco na região de Campinas, São Paulo, Brasil, o presente trabalho contribui para o entendimento do impacto de parâmetros meteorológicos no número de hospitalizações e óbitos por doenças cardiovasculares na região. A análise de doenças cardiovasculares se justifica por representarem a maior causa de mortes globalmente. Aproximadamente 17,9 milhões de pessoas morreram devido a doenças cardiovasculares em 2016, o que representa 31% das mortais globais [11]. No Brasil, aproximadamente 380.000 pessoas morreram por doenças cardiovasculares em 2017 (o que corresponde a mais de mil óbitos diários) [12].

II. MÉTODOS

Esse trabalho realizou um estudo observacional de dados de óbitos e hospitalizações na cidade de Campinas, integrados a informações de parâmetros meteorológicos.

A seção II-A descreve os dados utilizados e as operações de pré-processamento realizadas. A seção II-B apresenta o teste estatístico utilizado.

A. Dados

Os dados de saúde utilizados são da Secretaria de Saúde de Campinas (SSC) e são referentes aos óbitos e hospitalizações que ocorreram na cidade. O banco de dados de hospitalizações é referente ao período de 2014 a 2018 e o de óbitos, ao período de 2001 a 2018. Os dados foram obtidos pela parceria entre a SSC e o grupo de pesquisas em Clima & Saúde da Unicamp. O processamento dos dados conta com aprovação do Comitê de Ética em Pesquisas da Unicamp, CAAE 95503318.4.0000.5404. A limitação temporal dos dados se deve à sua data de coleta no início de 2019.

Ambos os bancos passaram por etapas de pré-processamento automatizado que tiveram como objetivo eliminar ou tratar inconsistências encontradas nas bases. Exemplos de inconsistências são indivíduos que apareciam de maneira duplicada no banco de óbitos e múltiplas internações no mesmo dia. Também foram descartadas linhas sem nome ou data de nascimento. Mais informações sobre os bancos e o pré-processamento realizado podem ser encontradas no repositório público do github do grupo Clima & Saúde da UNICAMP [13]. Por fim, foram filtrados apenas os registros relativos a doenças cardiovasculares, caracterizadas nesse trabalho como todos os eventos associados a códigos do Capítulo IX do Código Internacional de Doenças 10 [14].

Distribuição		Hospitalizações	Óbitos
Sexo	Homens	55,4%	52,6%
	Mulheres	44,6%	47,4%
Idade	Idosos	50,9%	67,9%
	Adultos	43,8%	27,8%
	Jovens adultos	4,7%	3,5%
	Crianças e adolescentes	0,6%	0,8%
Estação do ano	Verão	23,5%	23%
	Outono	25,1%	24,5%
	Inverno	27,8%	27,9%
	Primavera	23,7%	24,5%

Tabela I
DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS DE SAÚDE POR SEXO, IDADE E ESTAÇÃO DO ANO

Os dados das bases analisadas registraram 12.903 hospitalizações por doenças cardiovasculares entre os anos de 2014 e 2018. Analogamente, foram registrados 55.155 óbitos associados a doenças cardiovasculares no período entre 2001 e 2018. A Tabela I apresenta mais informações a respeito da distribuição desses eventos em sexo, idade e estação do ano. A divisão por faixa etária considerada foi: idosos (acima de 65 anos), adultos (40 a 64 anos), jovens adultos (20 a 39 anos) e crianças e adolescentes (abaixo de 20 anos). Para as estações do ano o calendário foi considerado de Dezembro a Novembro, com verão de Dezembro a Fevereiro; outono de Março a Maio, inverno de Junho a Agosto, e primavera de Setembro a Novembro.

Os parâmetros meteorológicos estudados foram obtidos da estação meteorológica de Viracopos, situada na latitude de 23° 00'S, longitude 47° 08'W e altitude de 657 metros na região Sudoeste de Campinas, e são referentes ao período entre 1983 e 2018. O clima de Campinas é caracterizado como clima subtropical úmido de inverno seco, com elevada umidade relativa e temperaturas amenas [15]. O banco consiste em dados diários para temperaturas máxima e mínima, pressão atmosférica, umidades máxima e mínima. A partir desses dados foram calculados também a amplitude térmica diária (diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima diária) e a variação de umidade diária (diferença entre a umidade máxima e umidade mínima diária).

Esses bancos de dados foram integrados em um único banco. A Tabela II apresenta o descritivo desse banco. Para esse descritivo foram considerados os óbitos e parâmetros meteorológicos entre 2001 e 2018, e as hospitalizações entre 2014 e 2018.

	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Amplitude Térmica (°C)	Pressão atmosférica média (hPA)	Umidade Mínima (%)	Umidade Máxima (%)	Variação de umidade (%)	Hospitalizações diárias	Óbitos diários
Média	16,7	27,2	10,6	940,6	47,5	92,5	45	7,1	8,4
Desvio padrão	3,3	3,9	3,3	3,3	16,2	7,8	13,6	3,2	3
Mediana	17,1	27,6	10,9	940,3	46	94	47	7	8
Mínimo	2,6	10,2	1,2	929,8	11	41	0	0	0
Máximo	24,8	37,4	22,5	952,3	100	100	86	22	22

Tabela II
DESCRITIVO DOS PARÂMETROS METEOROLÓGICOS E DADOS DE SAÚDE DIÁRIOS.

B. Análise de correlações

Para investigar a possível influência dos parâmetros meteorológicos nos desfechos de estudo, conduziu-se uma análise da correlação de Pearson [16] no nível de significância estatística de 5% ($p < 0,05$). Essa análise aponta para indícios de relação linear entre duas variáveis de estudo e o coeficiente pode variar entre -1 e 1. O sinal indica se a correlação é positiva ou negativa e o módulo indica o grau de associação linear entre as variáveis. Correlações positivas indicam que o aumento de um dos parâmetros resulta no aumento do outro enquanto correlações negativas indicam a relação inversa. As correlações podem ser classificadas de acordo com o grau de associação linear, sendo que para coeficientes acima de 0,9 são consideradas muito fortes; entre 0,7 e 0,9, fortes; entre 0,5 e 0,7, moderadas; entre 0,3 e 0,5, fracas, e abaixo disso desprezível.

Para essa análise, foram consideradas as medianas mensais, isto é, para cada um dos doze meses, foi calculada a mediana de cada um dos parâmetros. Então, a correlação de Pearson foi aplicada entre as medianas mensais dos desfechos cardiovasculares e as dos parâmetros meteorológicos. Essa análise foi realizada para a totalidade dos óbitos e hospitalizações e também para quatro estratificações dos óbitos, por gênero e acima ou abaixo de 65 anos de idade.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Homens representaram a maior parte dos óbitos e hospitalizações analisados, assim como os idosos. O inverno foi a estação do ano com maior número de eventos.

Foram encontradas correlações estatisticamente significativas entre medianas de hospitalizações e temperatura mínima, amplitude térmica e pressão atmosférica média (Tabela III) e entre medianas de óbitos e todos os parâmetros meteorológicos analisados (Tabela IV).

Variável climática	Coefficiente de Pearson	p valor	Grau de correlação
Temperatura mínima (°C)	-0,73	0,0069	forte
Temperatura máxima (°C)	-0,55	0,0627	-
Amplitude térmica (°C)	0,58	0,0458	moderada
Pressão média (hPA)	0,76	0,0045	forte
Umidade mínima (%)	-0,49	0,1037	-
Umidade máxima (%)	-0,34	0,2829	-
Variação de umidade (%)	0,54	0,0708	-

Tabela III

CORRELAÇÕES ENTRE MEDIANAS DE HOSPITALIZAÇÕES POR DOENÇAS CARDIOVASCULARES E PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

Pode-se observar um comportamento similar entre as correlações para hospitalizações e óbitos, com correlação inversa para temperatura mínima e máxima e umidade mínima e máxima, e correlação direta com pressão atmosférica, amplitude térmica e variação de umidade.

Na análise estratificada, apresentada na Tabela V, percebe-se que as mulheres acima de 65 anos representam o grupo mais afetado pelo clima, seguidas pelos homens acima de 65 anos.

Variável climática	Coefficiente de Pearson	p valor	Grau de correlação
Temperatura mínima (°C)	-0,91	< 0,0001	muito forte
Temperatura máxima (°C)	-0,76	0,0039	forte
Amplitude térmica (°C)	0,88	0,0002	forte
Pressão média (hPA)	0,84	0,0006	forte
Umidade mínima (%)	-0,87	0,0002	forte
Umidade máxima (%)	-0,81	0,0014	forte
Variação de umidade (%)	0,88	0,0001	forte

Tabela IV

CORRELAÇÕES ENTRE MEDIANAS ÓBITOS POR DOENÇAS CARDIOVASCULARES E PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

As correlações encontradas apresentam resultados semelhantes aos encontrados em outros estudos brasileiros para outras regiões do país. Um estudo no Rio de Janeiro encontrou correlações significativas inversas para temperatura máxima e mínima, e diretas para pressão atmosférica, para uma análise de óbitos por doenças cardiovasculares e variáveis meteorológicas [17]. Para a cidade de Limeira, foram encontradas correlações inversas entre temperatura máxima e mínima e mortalidade por doenças cardiovasculares [18] e para o Distrito Federal, correlações inversas entre temperaturas mínima e máxima e umidade relativa do ar, e óbitos por doenças cardiovasculares, e correlação direta para pressão atmosférica e óbitos [19].

Os resultados também estão em concordância com estudos que analisaram a influência de parâmetros meteorológicos em mecanismos biológicos. Variações de temperatura tem relação direta com o aumento de pressão sanguínea, viscosidade e batimentos, e consequentemente maior susceptibilidade a doenças cardiovasculares [20], [21].

Os idosos (acima de 65 anos) foram o grupo mais vulnerável aos parâmetros meteorológicos. Com a idade, o metabolismo reduz sua plasticidade e habilidade de manter a homeostase com variações do clima [22]. Além disso, no caso das mulheres, o metabolismo também é impactado pela diminuição da secreção hormonal de estrogênio e de hormônios folículo estimulante e luteinizante [23].

Como limitação do estudo destaca-se que a correlação de Pearson assume a existência de uma relação linear entre os parâmetros estudados, enquanto estudos apontam que essa seria em forma não linear e que os extremos estariam associados a riscos maiores [4], [7]. Apesar disso, esse estudo contribui para o entendimento do caráter regional das associações entre clima e saúde.

IV. CONCLUSÃO

Esse trabalho buscou analisar de maneira regional a influência do clima na saúde da população campineira. A temperatura mínima e pressão atmosférica média foram as variáveis com maior correlação com o número de hospitalizações. Para óbitos, as variáveis mais correlacionadas foram temperatura mínima, amplitude térmica e variação de umidade. As mulheres acima de 65 anos foram as mais afetadas pelo clima, ao analisar a correlação entre clima e óbitos de maneira

Variável climática	Mulheres abaixo de 65 anos		Homens abaixo de 65 anos		Mulheres acima de 65 anos		Homens acima de 65 anos	
	Coefficiente de Pearson	p valor	Coefficiente de Pearson	p valor	Coefficiente de Pearson	p valor	Coefficiente de Pearson	p valor
Temperatura mínima (°C)	-0,53	0,076	-0,78	0,0029	-0,91	< 0,0001	-0,87	0,0002
Temperatura máxima (°C)	-0,60	0,0378	-0,66	0,0187	-0,79	0,0023	-0,81	0,0015
Amplitude térmica (°C)	0,29	0,3658	0,48	0,1146	0,73	0,0066	0,63	0,0290
Pressão média (hPa)	0,56	0,0568	0,66	0,0192	0,85	0,0004	0,79	0,0023
Umidade mínima (%)	-0,28	0,3716	-0,47	0,1193	-0,75	0,0054	-0,68	0,0142
Umidade máxima (%)	-0,24	0,4509	-0,48	0,1150	-0,63	0,0286	-0,57	0,0513
Variação de umidade (%)	0,43	0,1635	0,46	0,1304	0,85	0,0004	0,55	0,0641

Tabela V

CORRELAÇÕES ENTRE MEDIANAS ÓBITOS POR DOENÇAS CARDIOVASCULARES E PARÂMETROS METEOROLÓGICOS, ESTRATIFICADO POR GÊNERO E IDADE (DESTAQUE PARA CORRELAÇÕES ESTATISTICAMENTE SIGNIFICANTES)

estratificada. Em trabalhos futuros, pretende-se adotar outras metodologias para avaliar esse impacto, que não assumam linearidade, e analisar o impacto de eventos climáticos extremos, tais como ondas de calor, na saúde da população de Campinas.

V. AGRADECIMENTOS

As autoras gostariam de agradecer ao PIBIC pelo financiamento do projeto de iniciação científica “Variações de Parâmetros Meteorológicos e Hospitalizações Associadas a Doenças do Sistema Circulatório, Estudo Exploratório com Dados de Campinas”; à Secretaria de Saúde de Campinas (SSC) pelos bancos de dados de óbitos e hospitalizações, obtidos no contexto do projeto FAPESP “Saúde Humana e Adaptação à Mudança Climática no Brasil: a Ciência dos Dados como Abordagem”, e à FAPESP, pelo financiamento do presente trabalho, na modalidade iniciação científica, processo 2020/10041-0.

REFERÊNCIAS

- [1] V. Masson-Delmotte *et al.*, “Summary for policymakers,” in *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2021.
- [2] A. McMichael, “Global climate change and health: an old story writ large,” in *Climate change and human health: risks and responses*. Geneva, World Health Organization, 2003, ch. 7.
- [3] D. Campbell-Lendrum, C. Corvalán, and A. Prüss-Ustün, “How much disease could climate change cause?” in *Climate change and human health: risks and responses*. Geneva, World Health Organization, 2003, ch. 7.
- [4] L. Bai *et al.*, “Increased coronary heart disease and stroke hospitalisations from ambient temperatures in ontario,” *Heart*, vol. 104, no. 8, pp. 673–679, 2018.
- [5] D. Onozuka *et al.*, “Extreme temperature and out-of-hospital cardiac arrest in japan: a nationwide, retrospective, observational study,” *Science of the Total Environment*, vol. 575, pp. 258–264, 2017.
- [6] C. Q. Ou *et al.*, “The impact of relative humidity and atmospheric pressure on mortality in guangzhou, china,” *Biomedical and Environmental Sciences*, vol. 27, no. 12, pp. 917–925, 2014.
- [7] S. Danet *et al.*, “Unhealthy effects of atmospheric temperature and pressure on the occurrence of myocardial infarction and coronary deaths: A 10-year survey: The lille-world health organization monica project (monitoring trends and determinants in cardiovascular disease),” *Circulation*, vol. 100, no. 1, pp. e1–e7, 1999.
- [8] A. I. Barreca, “Climate change, humidity, and mortality in the united states,” *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 63, no. 1, pp. 19–34, 2012.
- [9] C. J. Murray *et al.*, “Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the global burden of disease study 2019,” *The Lancet*, vol. 396, no. 10258, pp. 1223–1249, 2020.
- [10] I. H. Silveira *et al.*, “Projections of excess cardiovascular mortality related to temperature under different climate change scenarios and regionalized climate model simulations in brazilian cities,” *Environmental Research*, vol. 197, p. 110995, 2021.
- [11] World Health Organization, “Cardiovascular diseases (CVDs),” [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)), 2017.
- [12] Sociedade Brasileira de Cardiologia, “Cardiômetro,” <http://www.cardiometro.com.br/antiores.asp>, 2017.
- [13] J. P. De Lázari, P. D. P. Costa, A. M. H. Ávila, and E. C. d. Faria, “Technical report - health databases: preprocessing and descriptive,” https://github.com/climate-and-health-datasci-Unicamp/data-health_DCA-FEEC-UNICAMP, 2020.
- [14] “Doenças do aparelho circulatório,” in *CID-10: Classificação Estatística Internacional de Doenças com disquete Vol. 1*. Edusp, 1994, ch. IX.
- [15] H. E. Beck *et al.*, “Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution,” *Scientific data*, vol. 5, p. 180214, 2018.
- [16] J. Lee Rodgers and W. A. Nicewander, “Thirteen ways to look at the correlation coefficient,” *The American Statistician*, vol. 42, no. 1, pp. 59–66, 1988.
- [17] N. Boy *et al.*, “Influência das variáveis meteorológicas nos óbitos por doenças cardiovasculares no município do rio de janeiro,” Ph.D. dissertation, 2018.
- [18] A. Pascoalino, “Variação térmica e a distribuição tempo-espacial da mortalidade por doenças cardiovasculares na cidade de limeira/sp,” 2013.
- [19] E. F. Natal *et al.*, “Análise da influência das variáveis climáticas na mortalidade por doenças do aparelho circulatório no distrito federal, brasil, 2003-2012,” 2016.
- [20] W. Keatinge *et al.*, “Increases in platelet and red cell counts, blood viscosity, and arterial pressure during mild surface cooling: factors in mortality from coronary and cerebral thrombosis in winter,” *Br Med J (Clin Res Ed)*, vol. 289, no. 6456, pp. 1405–1408, 1984.
- [21] J. I. Halonen *et al.*, “Relationship between outdoor temperature and blood pressure,” *Occupational and environmental medicine*, vol. 68, no. 4, pp. 296–301, 2011.
- [22] J. L. Gamble *et al.*, “Climate Change and Older Americans: State of the Science,” *Environmental Health Perspectives*, vol. 121, no. 1, pp. 15–22, jan 2013.
- [23] M. d. M. Aires, “Fisiologia do envelhecimento humano,” in *Fisiologia*, 2012, pp. 1270–1279.