

RELAÇÃO ENTRE COVID-19, SANEAMENTO E INDICADORES DO PERFIL MUNICIPAL DO ESTADO DO CEARÁ

RELATIONSHIP BETWEEN COVID-19, SANITATION AND MUNICIPAL INDICATORS OF THE STATE OF CEARÁ

Herivanda Gomes de Almeida¹
Lívia Arruda Castro²
João da Silva Cavalcante³
Allan Clemente de Souza⁴
Silvano Porto Pereira⁵
Rafael Santiago da Costa⁶
José Carlos Mierzwa⁷
Francisco Suetônio Bastos Mota⁸

RESUMO

A Covid-19, caracterizada como pandemia pela Organização Mundial da Saúde (OMS), tornou-se um desafio sanitário. Estudos de tendências sociais e ambientais podem contribuir para a gestão de surtos da Covid-19 pelas autoridades sanitárias e governamentais. Neste contexto, este estudo objetivou associar casos confirmados

¹Mestra em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (DEHA/UFC). Doutoranda em Engenharia Civil pela UFC/DEHA. Técnica de Suporte em Saneamento da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece). Fortaleza-CE, Brasil. halmeyda@alu.ufc.br. Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-2556-7464>

²Mestre em Administração e Controladoria pela Universidade Federal do Ceará (PPAC/UFC). Doutoranda em Administração e Controladoria pela Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE, Brasil. Liviacastro@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2166-1145>.

³Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestrando em Engenharia Civil - Recursos Hídricos pela UFC. Engenheiro da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). Fortaleza-CE, Brasil. joacavalcante@alu.ufc.br. Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-6002-8971>.

⁴Doutorando em Eng^a Civil - Saneamento Ambiental - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - DEHA (UFC), Mestre em Eng^a Civil - Saneamento Ambiental - DEHA (UFC). Assistente de Gestão IV da Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (Cagece). Fortaleza-CE, Brasil. allan.clemente@alu.ufc.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4364-5362>.

⁵Doutor em Engenharia Civil / Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Atualmente é biólogo e especialista da Companhia de Água e Esgoto do Ceará. Fortaleza-CE, Brasil. Silvano.pereira@cagece.com.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4362-211X>.

⁶Mestre e Doutorando em Agronomia/Fitotecnia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Engenheiro da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). Fortaleza-CE, Brasil. rafaelsantiagodacosta@yahoo.com.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3158-2117>

⁷Pós-doutor na Escola de Engenharia e Ciências Aplicadas de Harvard. Professor e Pesquisador da Universidade de São Paulo e Coordenador de Projetos do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água. São Paulo-SP, Brasil. mierzwa@usp.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0377-563X>.

⁸Doutor em Saúde Pública (Saúde Ambiental) pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Titular da Universidade Federal do Ceará. Membro da Academia Cearense de Ciências e da Academia Cearense de Engenharia. Fortaleza-CE, Brasil. suetonio@ufc.br. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6061-4539>

de Covid-19 com indicadores de saneamento e indicadores sociais de 152 municípios do Ceará. As associações foram determinadas por métodos estatísticos descritivos, histograma, diagrama de dispersão e coeficiente de correlação de Spearman, e multivariáveis, Análise de Componentes Principais - ACP. Os resultados mostraram que a mesorregião Metropolitana de Fortaleza foi classificada de intermediário a muito alto para o número de casos confirmados por Covid-19, aproximadamente 45,4%. Fortaleza, epicentro da doença, contabilizou quase 33% dos casos ocorridos na mesorregião. As mesorregiões do interior do estado: Noroeste Cearense, Norte Cearense, Sul Cearense, Centro-Sul Cearense, Jaguaribe e Sertões Cearenses apresentaram escala moderada ou baixa para a incidência do coronavírus. Pela ACP, as variáveis densidade demográfica, população com água e coleta de esgoto estiveram associadas aos confirmados com Covid-19. A análise de correlação de Spearman mostrou que existe relação positiva forte e significativa ($p < 0,05$) entre os casos confirmados de Covid-19 com população com água e com coleta de esgoto e índice de desenvolvimento humano (IDH), assim como relação moderada entre casos confirmados de Covid-19 com produto interno bruto (PIB) per capita e IDH. Com base nos resultados conclui-se que o adensamento demográfico e a economia local estiveram mais associados à transmissão do SARS-CoV-2 do que os indicadores de saneamento básico.

Palavras-Chave: Indicadores municipais; Saneamento básico; SARS-CoV-2; Métodos estatísticos; Correlação.

ABSTRACT

Covid-19, characterized as a pandemic disease by the World Health Organization (WHO), has become a health challenge around the world. Studies related to social and environmental indicators can help the health and government authorities to manage the resources for coping with specific Covid-19 hotspot outbreaks. Therefore, this study aimed to correlate confirmed Covid-19 cases with sanitation and social indicators of 152 municipalities in the Ceará state, Brazil. Specific correlations were obtained by descriptive, histogram, scatter diagram and Spearman correlation coefficient, and multivariate, Principal Component Analysis – PCA, statistical methods. The results showed that the Fortaleza Metropolitan mesoregion was classified in the range of intermediate to very high for the number of confirmed Covid-19 cases, around 45.4%. Fortaleza city, epicenter of the disease, accounted for almost 33% of the cases in the mesoregion. The mesoregions in the interior of the state: Northwest Cearense, North Cearense, South Cearense, Center-South Cearense, Jaguaribe and Sertões Cearenses showed a moderate or low scale for the incidence of the Covid-19. According to the PCA results, the variables demographic density, population with water and sewage collection access were associated with confirmed Covid-19 cases. Spearman's correlation analysis showed a strong and significant positive relationship ($p < 0.05$) between confirmed Covid-19 and the population with water and sewage collection and the human development index (HDI), as well as the relationship moderate among those confirmed with Covid-19 with gross domestic product (GDP) per capita and HDI. Based on the results it was concluded that demographic density

and the local economy were more associated with the transmission of SARS-CoV-2 than basic sanitation indicators.

Keywords: Municipal indicators; Basic sanitation; SARS-CoV-2; Statistical methods; Correlation.

Artigo recebido em: 05/10/2023

Artigo aprovado em: 29/01/2024

Artigo publicado em: 14/03/2024

INTRODUÇÃO

A Covid-19, doença causada pelo coronavírus denominado SARS-CoV-2, foi identificada pela primeira vez na China, em dezembro de 2019. Em 30 de janeiro de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou que a epidemia da Covid-19 constituía uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII), e, em 11 de março de 2020, uma pandemia^{1,2}.

A partir da descoberta da doença, muitos estudos na comunidade científica iniciaram, e para além dos estudos clínicos de testagem de sintomáticos e contatos, outros têm se mostrado como uma ferramenta rápida e complementar aos indicadores da prevalência da Covid-19, como o caso do monitoramento do RNA do SARS-CoV-2 em águas residuárias^{3,4,5}. A presença do vírus nessa matriz é um importante indicador de casos da doença e como os esgotos não estão sujeitos às limitações dos diagnósticos clínicos individuais, abrangem os casos assintomáticos/ pré-sintomáticos/ leves a grave^{6,7}, sendo uma importante ferramenta para a tomada de decisão de autoridades estaduais, municipais e sanitárias, a fim identificar pontos críticos, alertar para o monitoramento e reduzir a transmissão do vírus^{8,9,10}.

Diante dessas iniciativas, e além dos estudos que buscam acompanhar a evolução, a magnitude da circulação do vírus por investigações de tendências espaciais e temporais, têm-se os fatores sociogeográficos^{11,12,13}. Além de traçar o perfil epidemiológico e realizar o controle sanitário, outras percepções podem ser consideradas para contribuir com a gestão da saúde pública, tais como as relações entre as variáveis que traçam o perfil municipal e mesorregional. Dentre elas, citam-se a densidade demográfica, Produto Interno Bruto (PIB), Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), Taxa de urbanização, População com água e com coleta de esgoto e o total de confirmados por Covid-19.

Dentre as variáveis citadas, o saneamento básico, mais fortemente citado nos estudos anteriores, é particularmente importante como medida preventiva, uma vez que a água está diretamente relacionada com os processos de higienização. Nesse sentido, o saneamento básico é um importante indicador que associado na determinação das doenças infecciosas impacta diretamente na saúde, na qualidade de vida e no desenvolvimento da sociedade como um todo, seja pela limpeza de superfícies e mãos potencialmente contaminadas e/ou pelo destino adequado e controlado de resíduos contaminantes^{14,15}.

De acordo com Bertasso e colaboradores¹⁶, a falta de saneamento básico é um dos fatores que tem maior influência na disseminação de diversas doenças, vetoriais ou não, como é o caso da Covid-19. Dessa forma, em países como o Brasil, que apresentam um contexto de desigualdade social, com parte da população vivendo em condições precárias de saneamento, o problema social é ainda mais preocupante, fazendo com que a Covid-19 seja um desafio sanitário sem precedente neste século¹⁷.

Dessa forma, este estudo representa uma contribuição para o avanço do conhecimento, pois, mesmo após a Organização Mundial da Saúde (OMS) ter decretado o fim da pandemia em 5 de maio de 2023, ainda pouco se sabe, além das relações com o saneamento, sobre as relações entre a incidência de casos por Covid-19 e outros indicadores dos perfis municipais no Brasil.

Partindo da hipótese de que o acesso aos serviços mínimos de saneamento básico podem evitar a propagação do SARS-CoV-2, o presente estudo teve como objetivo geral investigar a relação entre a incidência de casos por Covid-19 com população com água e com coleta de esgoto (indicadores de saneamento) associado a outros indicadores sociais do perfil municipal, com o intuito de gerar inferências, por intermédio de métodos estatísticos, se esses indicadores têm relação significativa com a manifestação do vírus em sete mesorregiões do estado do Ceará representadas por 152 municípios.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estudo foi aplicado ao Estado do Ceará, particularmente aos municípios atendidos pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), que totalizam 152 municípios dos 184 municípios do estado (Apêndice A). Os demais 32 municípios não foram incluídos na amostragem por dependerem de Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) e de Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR), que não dispõem de banco de dados em plataformas. A Tabela 1, lista os 16 municípios mais representativos para os resultados.

Tabela 1 – Municípios e mesorregiões representativas para o estudo

Código dos Municípios	Município	Mesorregião
12	Aracati	Jaguaribe
25	Russas	Jaguaribe
27	Aquiraz	Metropolitana
28	Caucaia	Metropolitana
29	Eusébio	Metropolitana
30	Fortaleza	Metropolitana
32	Horizonte	Metropolitana
34	Maracanaú	Metropolitana
75	Sobral	Noroeste Cearense
76	Tianguá	Noroeste Cearense
94	Itapipoca	Norte Cearense
106	São Gonçalo do Amarante	Norte Cearense
118	Crateús	Sertões Cearenses

127	Quixadá	Sertões Cearenses
137	Barbalha	Sul Cearense
143	Juazeiro do Norte	Sul Cearense

*Divisão Regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas

Obtenção das variáveis analisadas

Os dados de casos de Covid-19 dos 152 municípios do Ceará foram obtidos do site Coronavírus//Brasil¹⁸, abrangendo a primeira e segunda onda, de março de 2020 a setembro de 2021. As informações dos perfis municipais foram do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - IPECE e da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece. Para o estudo, as variáveis foram divididas em dois grupos: indicadores sociais municipais (densidade demográfica, Índice de Desenvolvimento Urbano (IDH), Produto Interno Bruto (PIB *per capita*), taxa de urbanização, confirmados Covid-19) e indicadores de saneamento/ambientais (população com água e população com coleta de esgoto).

Organização dos dados e elaboração do mapa de calor

Os dados dos 152 municípios foram organizados por mesorregião com intuito de evitar a extrapolação dos efeitos do epicentro de contaminação comunitária (Fortaleza) para as demais regiões. Assim, as representações gráficas e o mapa de calor estiveram associados à divisão do estado do Ceará em sete mesorregiões: Noroeste Cearense, Norte Cearense, Metropolitana de Fortaleza (MF), Mesorregião dos Sertões Cearenses, Mesorregião do Jaguaribe, Mesorregião do Centro-Sul Cearense e Mesorregião do Sul Cearense. O mapa de calor foi construído a partir dos dados de casos de Covid-19 e as notificações foram agrupadas no centróide de cada município. Desta forma, o mapa omite a real dispersão espacial dos dados das localidades dentro de um mesmo município. A ferramenta utilizada para a composição do mapa foi o software QGIS, versão 3.26.0. Para a análise de distribuição, dispersão e correlação do conjunto de dados, aplicou-se logaritmo natural ($\ln$) para melhor visualização gráfica dos histogramas e diagramas de dispersão sem alteração das correlações entre as variáveis.

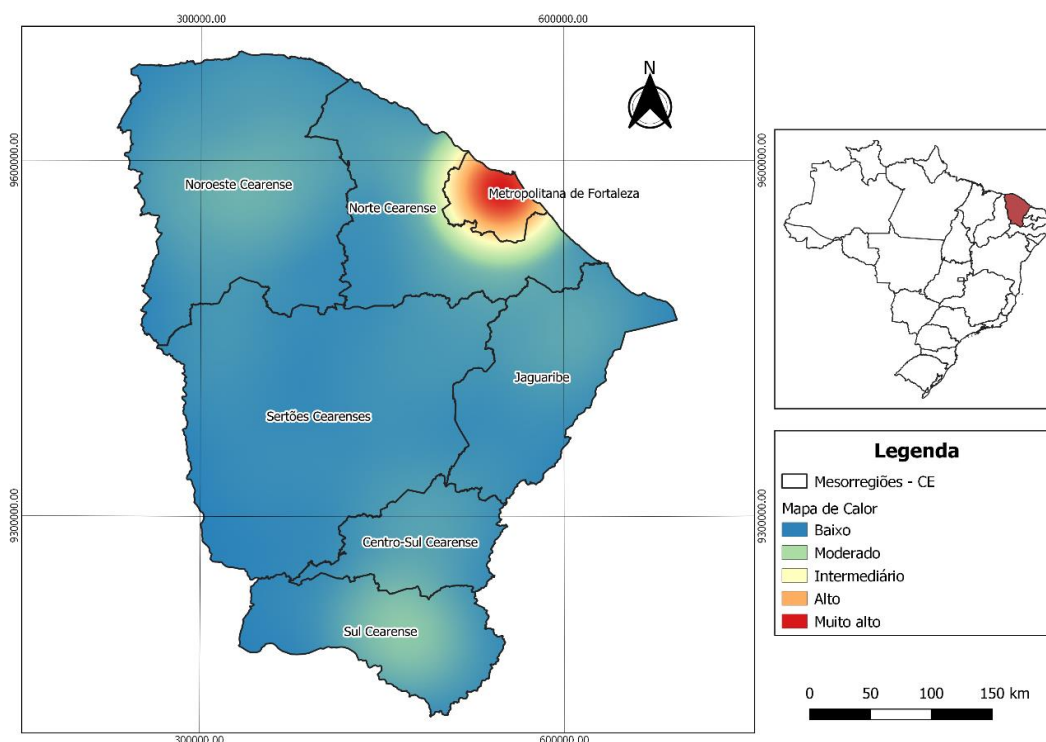
Análise estatística

Para descrever ou fazer inferência sobre o conjunto dos dados, utilizou-se a estatística descritiva (histograma, diagrama de dispersão e coeficiente de correlação de Spearman) e Análise de Componentes Principais – ACP. Para tanto, utilizou-se o software R, versão 4.1.2, nas funções *chart.correlation* (histograma, diagrama de dispersão e correlação de Spearman) e *fviz_pca* (Análise de Componentes Principais-PCA), através do ambiente de desenvolvimento *Rstudio*. Foram consideradas correlações fortes aquelas que apresentaram valores maiores do que 0.7, moderadas entre 0.7 e 0.5 e fraca para os demais casos¹⁹.

RESULTADOS

A Figura 1 mostra que, os casos de Covid-19 se acentuam na mesorregião Metropolitana de Fortaleza (MF), representada pelos municípios de Aquiraz, Caucaia, Eusébio, Fortaleza, Guaiúba, Horizonte, Itaitinga, Maracanaú, Maranguape, Pacajus e Pacatuba. A mesorregião obteve classificação de zona que se estende de “intermediário a muito alto”, em maioria na zona de “muito alto” para os casos confirmados. Em contrapartida, as mesorregiões do interior do estado: Noroeste Cearense, Norte Cearense e Sul Cearense apresentaram escala moderada para o número de casos e o Centro-Sul Cearense, Jaguaribe e Sertões Cearenses obtiveram baixa notificação para a Covid-19, de março de 2020 a setembro de 2021. As diferenças entre as mesorregiões podem ser ocasionadas por políticas públicas mais eficazes em determinadas áreas, em termos de testagem para contenção do vírus e/ou mais disponibilidade de serviços de saúde, maiores aglomerações em termos territoriais ou subnotificações.

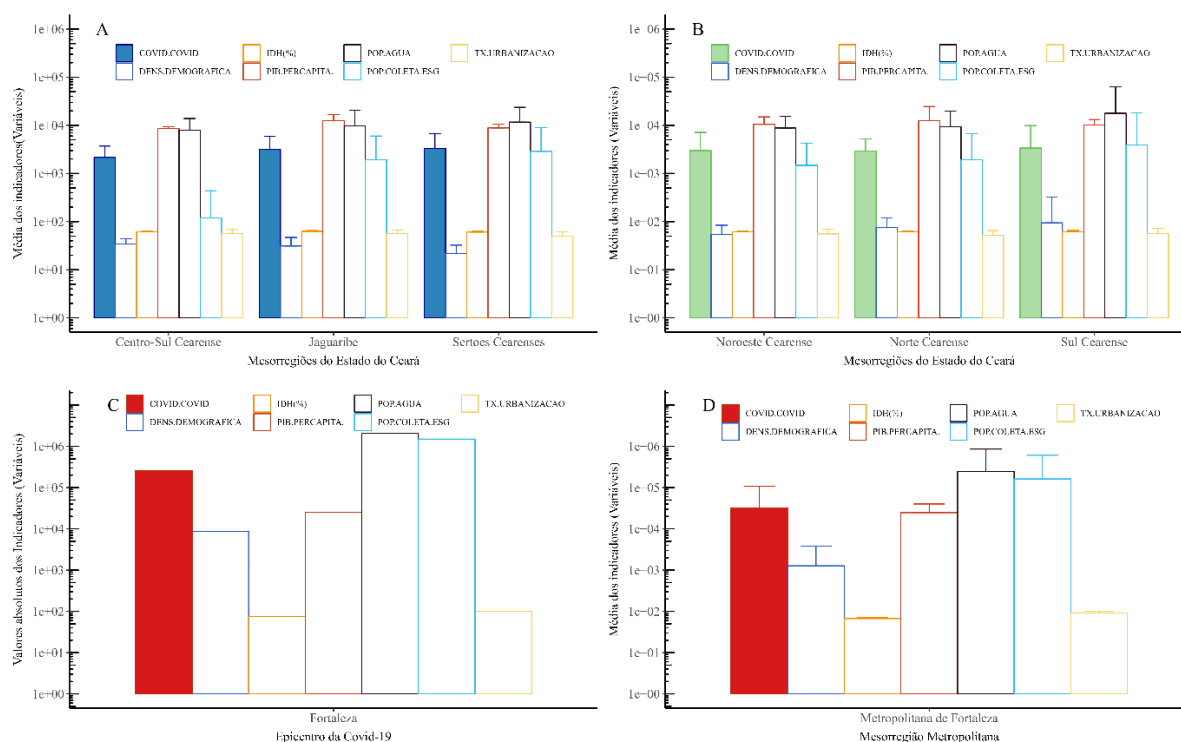
Figura 1 – Mapa de calor dos casos de Covid-19 por municípios do Ceará distribuídos nas mesorregiões, no período de março de 2020 a setembro de 2021.



Mantendo a configuração do mapa de calor, em dados numéricos, entende-se que as mesorregiões classificadas com baixa incidência (Figura 2A) obtiveram uma representatividade de 17,3% do total de confirmados por Covid-19 do estudo, 784.603 casos, distribuídos nos 152 municípios do período estudado. Dessas, a mesorregião Sertões Cearenses, que apresentou a maior média (3.322hab) de casos teve maior contribuição dos municípios de Crateús e Quixadá, municípios esses que detêm as maiores taxas de urbanização e PIB *perca capita* da Mesorregião. Soma-se a isso que, o município de Quixadá tem a maior densidade demográfica da região. As

mesorregiões Centro Sul e Jaguaribe também apresentaram contribuições mais significativas dos municípios com densidades demográficas e taxas de urbanização elevadas²⁰. No que se refere ao saneamento básico, particularmente, abastecimento de água e esgotamento sanitário, o Centro Sul obteve a menor média de casos por Covid-19, assim como a menor média de população com acesso à água e com coleta de esgoto, resultado que mostra uma relação isenta de causalidade com o saneamento, embora a acessibilidade aos serviços de saneamento, diante de surtos de doenças infecciosas e principalmente de água potável para a manutenção da higiene, seja indispensável^{21,22,23}.

Figura 2 – Baixa incidência (A), moderada incidência (B), Epicentro da Covid-19 (C), alta incidência (D) de confirmados por Covid-19.



A área moderada para os casos de Covid-19 foi representada pelas mesorregiões Noroeste, Norte e Sul Cearense e deteve 37,3% do total de casos (784.603hab). A média mais relevante para os casos de coronavírus incidiu sobre o Sul Cearense (3.369hab), coincidindo com um perfil em desenvolvimento mais acelerado, indicado pelas maiores médias de densidade demográfica (94 hab/km²), taxa de urbanização (57%), população com água (17.746hab) e de população com esgotamento sanitário (3.911hab) (Figura 2B).

Classificada com alta incidência, a mesorregião Metropolitana de Fortaleza (MF) reuniu 45,4% dos 784.603 casos. A cidade de Fortaleza, epicentro da Covid-19 e capital do Estado, foi responsável por quase 33% dessa totalidade e contribuiu com 257.633 notificações para a média de casos (32.415) da mesorregião (Figura 2C e 2D). Some-se a isso que a cidade de Fortaleza decorre de um perfil municipal que indica uma cidade 100% urbanizada, IDH (75%), Densidade demográfica (8.655

hab/km²), PIB *per capita* (25.254 R\$), 2.066.267 de população com água e 1.499.687 de população com coleta de esgoto (Figura 2C). Em outro extremo, pertencente a mesorregião, o município de Guaiúba obteve o menor número de casos (1.631hab), condizente com um perfil de menor densidade demográfica, taxa de urbanização e de PIB *per capita*²⁰.

Para a Análise de Componentes Principais (ACP), o teste de esfericidade de Bartlett mostrou que as variáveis originais são correlacionadas entre si e podem ser resumidas a componentes principais (*p-value* < 0,05). O teste KMO (*Kaiser-Meyer-Olkin*) indicou que pela medida geral (*MAS* = 0.83), a amostragem foi considerada adequada para a ACP.

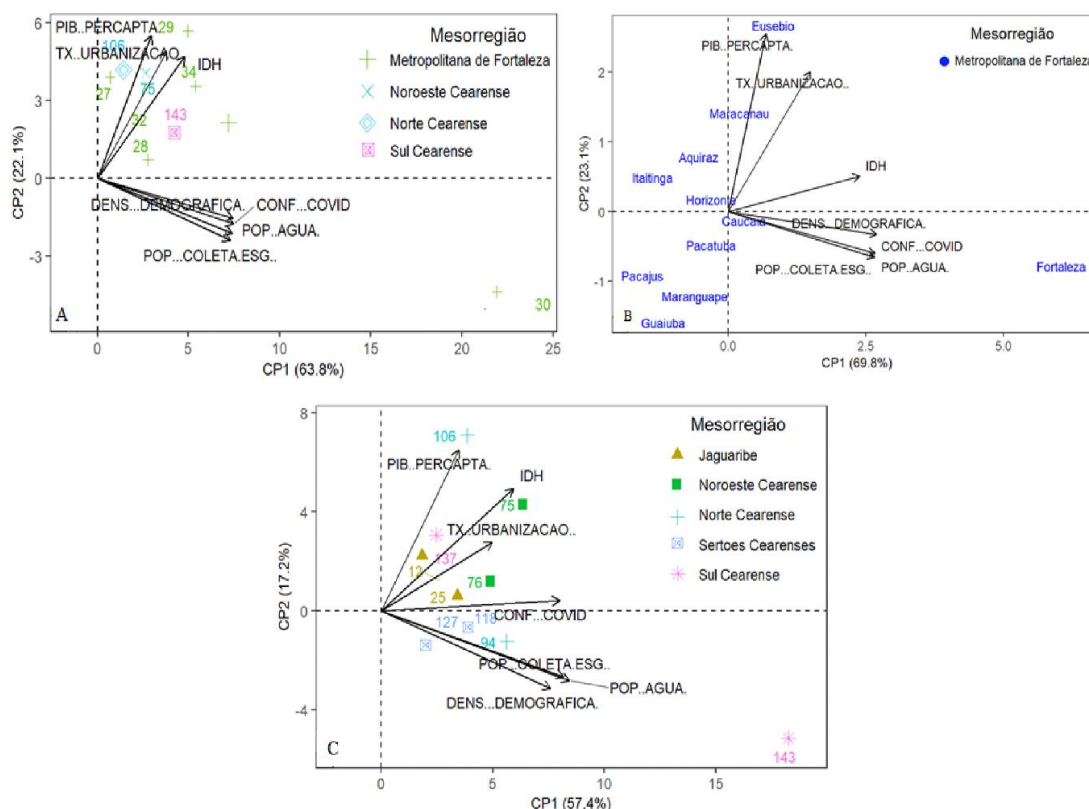
Entende-se que, diante da técnica de ACP (Figura 3), para todas as mesorregiões (Figura 3A) os componentes 1 e 2 tiveram mais influência sobre o conjunto de dados, apresentaram os maiores autovalores (0,64 e 0,22, respectivamente) e foram responsáveis por 85,9% da variabilidade total, em que o CP1 foi responsável por 63,8% e o CP2 por 22,1%. Em análise, infere-se que os dois primeiros componentes resumem efetivamente a variância amostral total e podem ser utilizados para o estudo do conjunto de dados²⁴. As variáveis densidade demográfica (DENS.DEMOGRAFICA), população com água (POP.AGUA), confirmados por Covid-19 (CONF.COVID) e população com coleta de esgoto (POP.COLETA.ESG) foram mais representativas para o CP1 e estiveram associadas pela variabilidade (correlacionadas). As variáveis PIB *per capita* (PIB.PERCAPITA), taxa de urbanização (TX.URBANIZACAO) e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) estiveram influenciadas pelo componente principal 2 (CP2). Além disso, percebe-se que o grupo formado pela CP1 está associado à mesorregião Metropolitana com mais contribuição para a dispersão dos dados, sobretudo sob influência de Fortaleza (epicentro da doença) e o grupo da CP2 além da mesorregião Metropolitana, esteve sobre influência da Noroeste Cearense, Norte Cearense e Sul Cearense. Nesse caso, apresentaram destaques as cidades de Aquiraz, Caucaia, Eusébio, Horizonte, Maracanaú, Sobral, São Gonçalo do Amarante e Juazeiro do Norte para a associação das variáveis. Pela análise, percebe-se que as cidades mais influentes reúnem os maiores indicadores demográficos e econômicos. Para Kerr e colaboradores²⁵, o percentual de domicílios com adensamento excessivo tem direta associação com a transmissão, o que também é verificado no estudo ao analisar a associação entre os confirmados e a demografia que a correlação é lógica.

Quando se analisa a ACP apenas para a região Metropolitana (Figura 3B), considerando a região de maior concentração dos testes e de casos positivados, houve 92,9% de explicação pelos componentes 1 e 2. Assim como a ACP da Figura 3A, as variáveis densidade demográfica, população com água e população com coleta de esgoto e IDH estiveram correlacionadas positivamente aos casos confirmados por Covid-19 e explicadas fortemente pela CP1. A variável IDH mais representativa pela CP1, pode ainda apresentar correlação com as variáveis influenciadas pela CP2 (PIB *per capita* e taxa de urbanização). Nesse caso, mesmo não muito diferente dos demais, entende-se que principalmente na capital do Estado, área mais desenvolvida em termos de indicadores de saúde, saneamento e de economia, espera-se um maior número de testagem e notificações, o que difere de áreas mais remotas e menos desenvolvidas, que se espera uma subnotificação²⁶.

Do mesmo modo, realizando a ACP apenas para as mesorregiões do interior do Estado (Figura 3C), a explicação da variabilidade total pelos componentes 1 e 2 é de 74,6% e os confirmados por Covid-19 estiveram no intermédio entre associação com taxa de urbanização, IDH, PIB *per capita* e com densidade demográfica, população com água e coleta de esgoto. Separando as associações, entende-se que o agrupamento formado pela CP1 (Confirmados Covid-19, densidade demográfica e população com água e coleta de esgoto) foi influenciado significativamente pelas cidades de Itapipoca, Crateús, Quixadá e Juazeiro do Norte, pertencentes ao Norte Cearense, Sertões Cearenses e Sul Cearense.

O grupo formado pela CP2 (confirmados por covid, taxa de urbanização, PIB *per capita* e IDH) esteve associado às mesorregiões Jaguaribe, Noroeste Cearense e Norte Cearense. As cidades que contribuíram para a correlação foram Aracati, Russas, Sobral, Tianguá, São Gonçalo do Amarante e Barbalha. Diante das associações semelhantes das mesorregiões e da influência significativa dos municípios mais desenvolvidos e mais densos, seja pela característica urbana, maiores centros econômicos, que propiciam um fluxo constante de pessoas, mantém-se o entendimento de que esses são mais propensos à instalação do vírus. Para Borges e colaboradores²⁷, o crescente deslocamentos de indivíduos mundialmente e a expansão demográfica são fatores antropogênicos que impactam diretamente na transmissão do SARS-CoV-2, causando dispersão viral pela rota tradicional (gotículas) e ciclos novos de transmissão, sobretudo depois das postulações de transmissão do vírus por meio de superfícies contaminadas²⁸.

Figura 3 – ACP das mesorregiões: Metropolitana e Interior (A), Metropolitana (B) e Interior (C). *Biplot* referente aos municípios (indivíduos) e variáveis (Indicadores do perfil municipal) do Ceará.

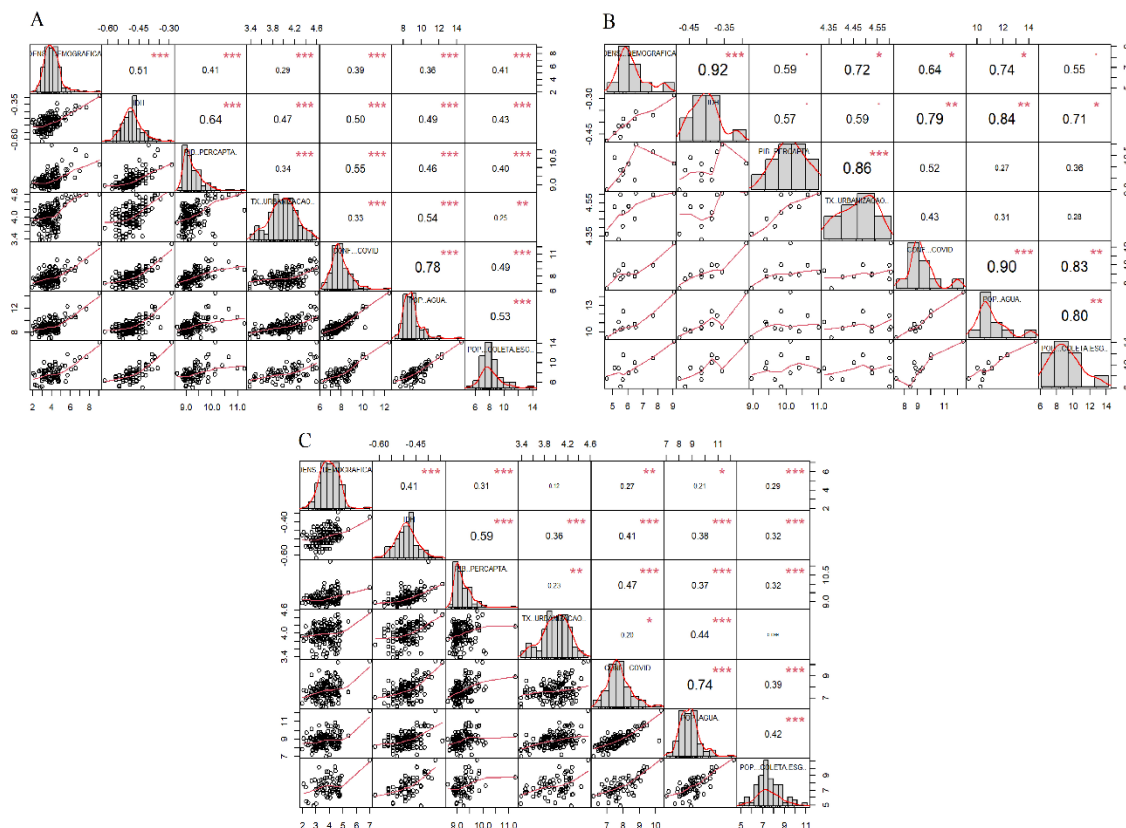


Nas Figuras 4A, 4B e 4C que analisam a distribuição, dispersão e correlação entre as variáveis, verifica-se que os dados apresentaram distribuição assimétrica (anormal) e, em maioria, ocorreu bom ajuste desses nas distribuições. Além dos coeficientes de correlação de *Spearman*, pode-se deduzir os tipos de correlações nos diagramas de dispersão pela concentração dos dados (pontos) e pelas retas crescentes. Desse modo, todas as relações são positivas, ou seja, as variáveis estão proporcionalmente correlacionadas. Referindo-se à Figura 4A (Metropolitana e Interior), as correlações variam de 0,25 a 0,78, correspondendo aos pares (TX.URBANIZAÇÃO, POP.COLETA.ESG) e (CONF.COVID, POP.AGUA), respectivamente. Existe uma relação forte entre os confirmados com Covid-19 e população com água (0,78) e relação moderada entre confirmados com Covid-19 com PIB *per capita* (0,55) e IDH (0,50). Pela análise de correlação de *Spearman*, todas as correlações foram significativas ($p < 0,05$).

Quando se analisa somente a região metropolitana de Fortaleza (Figura 4B), infere-se que há correlação forte entre os confirmados por Covid-19 com IDH (0,79) e com população com água (0,9) e coleta de esgoto (0,83). Percebe-se, ainda, correlação moderada entre o número de confirmados por Covid-19 e densidade demográfica (0,64). Ambas as correlações foram significativas ($p < 0,05$).

Na Figura 4C, para o conjunto de dados do interior do estado do Ceará, ocorreu relação forte entre o número de confirmados por Covid-19 com população com disponibilidade de água (0,74). Pode-se inferir ainda que, embora fraca, há uma tendência de uma relação moderada entre confirmados por Covid-19 com PIB *per capita* (0,47) e IDH (0,41). Exceto para a correlação entre densidade demográfica e taxa de urbanização (0,12) e taxa de urbanização com população com coleta de esgoto (0,099), todas as correlações foram significativas ($p < 0,05$). Em resumo, as relações fortes de população com água com positivados para o coronavírus, possivelmente, indicam que os investimentos dos serviços de saneamento são proporcionais à densidade demográfica e ao desenvolvimento da região. Em concordância ao estudo, em primeiro lugar, cita-se que o país em que se insere o contexto é o segundo mais populoso e com as maiores economias do mundo e que Fortaleza, umas das capitais do país que registrou o primeiro caso e óbito por covid-19, tem alta concentração e circulação populacional e grandes fluxos e conexões (regional, nacional e internacional) de pessoas e mercadorias e, portanto, serviu como principal porta de entrada para a Covid-19 no Estado, facilitando a difusão do vírus^{29,30}.

Figura 4 – Histogramas, diagramas de dispersão e coeficiente de correlação de Spearman da Metropolitana e Interior (A), Metropolitana (B) e Interior (C) entre 7 variáveis municipais.



CONCLUSÃO

Conclui-se que, as associações e correlações fortes e positivas entre os confirmados por Covid-19 com os indicadores de saneamento estão mais associadas indiretamente ao adensamento demográfico e à economia local do que com os próprios indicadores de saneamento. Tal fato pode ser constatado, sobretudo, quando se analisa a mesorregião Metropolitana de Fortaleza, classificada no mapa de calor com alta incidência de casos confirmados de Covid-19, mesmo sendo a região mais desenvolvida em termos de recursos, indicadores de saúde e de saneamento frente à pandemia, mas que, em contrapartida, apresenta densidade demográfica muito elevada. Some-se a isso que as mesorregiões com classificação moderada, Noroeste, Norte e Sul Cearense, tiveram maiores contribuições, para a média de casos de coronavírus, das cidades com perfil urbano em desenvolvimento mais acelerado e com potencial de aglomerações.

Nesse contexto, entende-se que as correlações não evidenciam uma relação causal entre a desigualdade dos serviços de saneamento nos municípios, sobretudo de água e esgotamento sanitário, que possam influenciar no número de casos de Covid-19. Assim, as correlações positivas entre as variáveis, confirmados com covid-19 com população com água e com coleta de esgoto, podem evidenciar apenas que cidades/municípios mais desenvolvidos têm mais acesso à água, ao esgotamento

sanitário e mais mobilidade e, portanto, circulação de pessoas com potencial de transmissão do Sars-COV-2.

Embora os dados não mostrem correlação negativa entre os serviços de saneamento e a Covid-19, não se pode afirmar que o acesso a água e coleta de esgoto não influenciam positivamente na contenção ou diminuição do vírus, mas que de fato tenha ocorrido uma subnotificação em cidades menos assistidas ou que o isolamento geográfico e as baixas densidades demográficas de cidades interioranas, em relação aos grandes centros urbanos (adensados), tenham diminuído a circulação e a transmissão do vírus.

AGRADECIMENTOS

À Companhia de Água e Esgoto do Ceará pelo apoio à pesquisa por intermédio da Gerência de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (GEPED) e ao Departamento de Engenharia, Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

REFERÊNCIAS

1. World Health Organization (WHO). (2020). WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19—11 March 2020. World Health Organization. <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19-11-march-2020>.
2. Oliveira WK, Duarte E, França GVA, Garcia LP. Como o Brasil pode deter a COVID-19. *Epidemiol Serv Saúde* 2020; 29(2):1-8. <https://www.scielo.br/j/ress/a/KYNSHRcc8MdQcZHqZzVChKd/?lang=pt>.
3. Peccia J, Zulli A, Brackney DE, Grubaugh ND, Kaplan EH, Casanovas-Massana A, Ko AI, Malik AA, Wang D, Wang M, Warren JL, Weinberger DM, Arnold W, Omer SB. Measurement of SARS-CoV-2 RNA in wastewater tracks community infection dynamics. *Nat Biotechnol* 2020; 38(10): 1164-1167. <https://www.nature.com/articles/s41587-020-0684-z>.
4. Ahmed W, Tschärke B, Bertsch PM, Bibby K, Bivins A, Choi P, Clarke L, Dwyer J, Edson J, Nguyen TMH, O'Brien JW, Simpson SL, Sherman P, Thomas KV, Verhagen JZ, Mueller JF. SARS-CoV-2 RNA monitoring in wastewater as a potential early warning system for COVID-19 transmission in the community: A temporal case study. *Sci. Total Environ* 2021; 761:1-9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33360129/>.
5. Chik AHS, Glier MB, Servos M, Mangat CS, Pang XL, Qiu Y. Comparison of approaches to quantify SARS-CoV-2 in wastewater using RT-qPCR: results and implications from a collaborative inter-laboratory study in Canada. *J Environ. Sci*

2021; 107: 218-229.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1001074221000346>.

6. Lorenzo M, Picó Y. Wastewater-based epidemiology: current status and future prospects. *Curr Opin Environ Sci Health* 2019; 9: 77-84.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468584418300965>.
7. Kumar M, Joshi M, Patel AK, Joshi CG. Unravelling the early warning capability of wastewater surveillance for COVID-19: A temporal study on SARS-CoV-2 RNA detection and need for the escalation. *Environmental Research*. 2021; 196, 11094. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935121002401>.
8. Shermin N, Rahaman NSk. Assessment of sanitation service gap in urban slums for tackling COVID-19. *Journal of Urban Management* 2021; (10):230–241.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2226585621000649>.
9. Wong YHM, Lim JT, Griffiths J, Lee B, Maliki D, Thompson J, Wong M, Chae, Teoh Y L, Ho ZJM, Lee V, Cook AR, Tay M, Wong JCC, Ng LC. Positive association of SARS-CoV-2 RNA concentrations in wastewater and reported COVID-19 cases in Singapore – A study across three populations. *Science of the Total Environment* 2023; 902, 166446.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723050714>.
10. Agrawal S, Orschler L, Lackner S. Long-term monitoring of SARS-CoV-2 RNA in wastewater of the Frankfurt metropolitan area in Southern Germany. *Sci Rep* 2021; 11(1):1-7. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-84914-2>.
11. Kumar M, Joshi M, Shah AV, Srivastava V, Dave S. Wastewater surveillance-based city zonation for effective COVID-19 pandemic preparedness powered by early warning: A perspectives of temporal variations in SARS-CoV-2-RNA in Ahmedabad, India. *Science of the Total Environment*; 2021, 792, 148367.
12. Ando H, Murakami M, Ahmed W, Iwamoto R, Okabe S, Kitajima M. Wastewater-based prediction of COVID-19 cases using a highly sensitive SARS-CoV-2 RNA detection method combined with mathematical modeling. *Environ Int* 2023; 173:1-10. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412023000168>.
13. Teles AJ, Bohm BC, Silva SCM, Bruhn FRP. Socio-geographical factors and vulnerability to leptospirosis in South Brazil. *BMC Public Health* 2023; 23(1): 1-12. <https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-023-16094-9>.
14. Das A, Ghosh S, Das K, Dutta I, Basu T, Das M. (2020). Re:(In) visible impact of inadequate WaSH Provision on COVID-19 incidences can be not be ignored in large and megacities of India. *Public Health* 2020; 185: 34-36.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7253972/>.
15. Islam SMDU, Mondal PK, Ojong N. Water, sanitation, hygiene and waste disposal practices as COVID-19 response strategy: insights from Bangladesh.

- Environ Dev Sustain* 2021; 23: 11953-11974.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33424423/>.
16. Bertasso RB, Santana COP, Carvalho ROD, Pires HMC, Ribeiro LF, Silva VCC. (2023). A disseminação da Covid-19 e o acesso ao saneamento básico nas regiões geográficas brasileiras em 2020. *Rev Saúde Mult* 2023; 14(1): 190-198.
https://www.researchgate.net/publication/372713003_A_DISSEMINACAO_DA_COVID-19_E_O_ACESSO_AO_SANEAMENTO_BASICO_NAS_REGIOES_GEOGRAFICAS_BRASILEIRAS_EM_2020.
 17. Weihs M, Mertens F. Os desafios da geração do conhecimento em saúde ambiental: uma perspectiva ecossistêmica. *Cien Saude Colet* 2020; 18(5): 1501-1510. <https://www.scielo.br/j/csc/a/Gm3CCYKxMfJcdXPZd8wzZ6g/>.
 18. Coronavírus Brasil. *Casos confirmados 2020-2021*. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/>.
 19. Zar JH. *Biostatistical Analysis prentice-hall international*. (3ª ed.) London: Universidade de Michigan; 1996.
 20. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). *Perfil básico municipal*. Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/>.
 21. Desye B. Covid-19 Pandemic and Water, Sanitation, and Hygiene: Impacts, Challenges, and Mitigation Strategies. *Environ Health Insights* 2021; 15:1-7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34345174/>.
 22. Britton BC, Cook KT, Wu ST, Burnett J, Wallar RC, Bakker HC, Oliver HF. Sanitation and customer service strategies implemented during COVID-19 correlated with lower *Listeria monocytogenes* prevalence in retail delicatessens. *Food Control* 2022; 134:1-11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713521008392>.
 23. Wang C, Horby PW, Hayden FG, Gao GF. A novel coronavirus outbreak of global health concern. *Lancet* 2020; 395(10223): 470-473. [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(20\)30185-9/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)30185-9/fulltext).
 24. Hongyu K, Sandanielo VLM, Oliveira Junior GJ. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. *Engineering Sci* 2016; 5(1): 83-90. <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/3398>.
 25. Kerr L, Kendall C, Silva AAM, Aquino EML, Pescarini JM, Almeida RLF, Ichihara MY, Oliveira JF, Araújo TVB, Jorge DCP, Miranda Filho DB, Santana G, Gabrieelli L, Albuquerque MFPM, Almeida-Filho N, Silva NJ, Souza R, Ximenes RAA, Martelli, CMT, Brandão Filho SP, Souza WV, Barreto ML. COVID-19 in northeast Brazil: Achievements and limitations in the responses of the state governments. *Cien Saude Colet* 2020; 25(2): 4099-4120. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33027347/>.

26. Albani V, Loria J, Massad E, Zubelli J. COVID-19 underreporting and its impact on vaccination strategies. *BMC Infect Dis* 2021; 21(1111): 1-13.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34711190/>.
27. Borges AA, Suzukawa AA, Zanluca C, Santos CND. SARS-CoV-2: origem, estrutura, morfogênese e transmissão. In: Barral-Netto M, Barreto ML, Pinto Junior EP, Aragão E. (org.). *Construção de conhecimento no curso da pandemia de COVID-19: aspectos biomédicos, clínico-assistenciais, epidemiológicos e sociais*. Salvador: Edufba; 2020. p. 1-21.
https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/32370/8/vol1_cap2_SARS-CoV-2%20origem%20estrutura%20morfogenese%20e%20transmissao.pdf.
28. Jones RM. Relative contributions of transmission routes for COVID-19 among healthcare personnel providing patient care. *J Occup Environ Hyg* 2020; 17(9):408-415. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/15459624.2020.1784427>.
29. Freitas CM, Pereira AMM, Machado CV. *A resposta do Brasil à pandemia de Covid-19 em um contexto de crise e desigualdades*. Políticas e sistemas de saúde em tempos de pandemia: nove países, muitas lições [online]. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz; 2022, p. 295-322. <https://books.scielo.org/id/t67zr/pdf/machado-9786557081594-11.pdf>.
30. Albuquerque, MV, Ribeiro, LH. Desigualdade, situação geográfica e sentidos da ação na pandemia da Covid-19 no Brasil. *Cad Saúde Pública* 2020; 36(12): 1-14. <https://www.scielo.br/j/csp/a/YnJk6W34PYN9G5jp39kzCdy/abstract/?lang=pt>.

Apêndice A - Dados suplementares dos 152 municípios do estado do Ceará, contemplados no estudo

Código do Município	Mesorregião Centro-Sul Cearense	Código do Município	Noroeste Cearense	Código do Município	Noroeste Cearense	Código do Município	Sertões Cearenses
1	Antonina do Norte	38	Acaraú	78	Uruoca	116	Catarina
2	Baixio	39	Alcântaras	79	Varjota	117	Choró
3	Cariús	40	Barroquinha	80	Vicosa do Ceará	118	Crateús
4	Cedro	41	Bela Cruz	Código do Município	Norte Cearense	119	Ibaretama
5	Ipaumirim	42	Cariré	81	Acarape	120	Independência
6	Lavras da Mangabeira	43	Carnaubal	82	Apuiaries	121	Mombaça
7	Orós	44	Catunda	83	Aracoiaba	122	Monsenhor Tabosa
8	Tarrafas	45	Chaval	84	Aratuba	123	Novo Oriente
9	Umari	46	Coreaú	85	Barreira	124	Parambu
10	Várzea Alegre	47	Croatá	86	Baturité	125	Piquet Carneiro
Código do Município	Mesorregião Jaguaribe	48	Cruz	87	Beberibe	126	Quiterianópolis
11	Alto Santo	49	Forquilha	88	Capistrano	127	Quixadá

12	Aracati	50	Frecheirinha	89	Caridade	128	Saboeiro
13	Ererê	51	Graça	90	Cascavel	129	Senador Pompeu
14	Fortim	52	Groaíras	91	Chorozinho	130	Tamboril
15	Ibicuitinga	53	Guaraciaba do Norte	92	General Sampaio	131	Taua
16	Iracema	54	Hidrolândia	93	Guaramiranga	Código do Município	Sul Cearense
17	Itaiçaba	55	Ibiapina	94	Itapipoca	132	Abaíara
Código do Município	Mesorregião Jaguaribe	56	Iraucuba	95	Itapiuna	133	Altaneira
18	Jaguaretama	57	Itarema	96	Itatira	134	Araripe
19	Jaguaribara	58	Jijoca de Jericoacoara	97	Mulungu	135	Assaré
20	Jaguaruana	59	Marco	98	Ocara	136	Aurora
21	Palhano	60	Martinópolis	99	Pacoti	137	Barbalha
22	Pereiro	61	Massapê	100	Palmácia	138	Barro
23	Potiretama	62	Meruoca	101	Paracuru	139	Campos Sales
24	Quixerê	63	Miraima	102	Paraipaba	140	Farias Brito
25	Russas	64	Moraújo	103	Paramoti	141	Granjeiro
26	Tabuleiro do Norte	65	Morrinhos	104	Pentecoste	142	Jati
Código do Município	Mesorregião Metropolitana	66	Mucambo	105	Redenção	143	Juazeiro do Norte
27	Aquiraz	67	Pacujá	106	São Gonçalo do Amarante	144	Mauriti
28	Caucaia	68	Pires Ferreira	107	São Luís do Curu	145	Milagres
29	Eusébio	69	Poranga	108	Tejuçuoca	146	Missão Velha
30	Fortaleza	70	Reriutaba	109	Trairi	147	Nova Olinda
31	Guaiúba	71	Santana do Acaraú	110	Tururu	148	Penaforte
32	Horizonte	72	Santa Quitéria	111	Umirim	149	Porteiras
33	Itaitinga	73	São Benedito	112	Uruburetama	150	Potengi
34	Maracanaú	74	Senador Sá	Código do Município	Sertões Cearenses	151	Salitre
35	Maranguape	75	Sobral	113	Acopiara	152	Santana do Cariri
36	Pacajus	76	Tianguá	114	Ararendá		
37	Pacatuba	77	Ubajara	115	Arneiroz		

Fonte: IBGE (1992)*

*Divisão Regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas.