

Análise sistêmica do município de São Paulo e suas implicações para o avanço dos casos de Covid-19¹

VINÍCIUS CARVALHO JARDIM^I
e MARCOS SILVEIRA BUCKERIDGE^{II}

Introdução

O NOVO CORONAVÍRUS (Sars-Cov-2), que provoca a Covid-19 (Corona Virus Disease-19), começou a se espalhar a partir da província da Wuhan, na China em janeiro de 2020.² O vírus se propagou rapidamente para o resto da Ásia, depois Europa e Estados Unidos (Chinazzi et al., 2020). O Sars-Cov-2 chegou ao Brasil posteriormente, entre fevereiro e março de 2020. Em meio à detecção de casos no Brasil, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou pandemia da Covid-19. A evolução da pandemia no mundo gerou diferentes padrões de resposta em diferentes países (Buckeridge, 2020). Os níveis de infecção por Covid-19 por 100 mil habitantes foram proporcionalmente maiores na Europa e nos Estados Unidos do que na Ásia, enquanto em outras regiões do mundo (América Latina e Oriente Médio), entre 11 e 20 de abril de 2020, a pandemia ainda avançava e estes se encontravam em nível intermediário.

O mecanismo de espalhamento de Sars-Cov-2 ocorre através de contato físico e de aerossóis produzidos por pessoas infectadas (Liu et al., 2020). Em média, cada indivíduo infectado leva à infecção de 1,5 a 3,5 novos indivíduos,³ um nível de infecção similar ao ebola e a Sars, por exemplo. O grande problema do espalhamento do vírus Sars-Cov-2 é que ele se espalhou nas cidades por todo o mundo e ainda não há medicamentos ou vacina que possam deter o espalhamento da pandemia. Por esses motivos, a tendência é que a doença se espalhe mais rapidamente em regiões com maior aglomeração, como as cidades.

Em cada cidade no mundo, o espalhamento de uma doença infecciosa como a Covid-19 pode ser potencializado ou diminuído por diferentes razões. Algumas medidas têm sido consideradas importantes para deter o avanço das infecções em cidades. Uma das principais é o isolamento social (Kissler et al., 2020). Em Wuhan, na China, a medida aplicada foi um isolamento radical denominado “*lockdown*”, que obteve sucesso impedindo um espalhamento mais intenso da doença no país. O mesmo tipo de medida teve que ser aplicado na

Itália e na Espanha, e posteriormente passou a ser aplicado em várias cidades do mundo. Em certos casos (Inglaterra, Suécia e Coreia do Sul, por exemplo), as medidas de isolamento social foram norteadas por testes que permitiram detectar indivíduos infectados e isolá-los.

O processo de evolução das infecções parece ser visto melhor como um processo sistêmico (Buckeridge, 2020) em que vários fatores agem em conjunto e a sua influência pode variar de acordo com as condições locais. Um fator importante em alguns casos parece ter sido o tempo de resposta após a chegada da infecção. Na Coreia do Sul, acredita-se que medidas drásticas de testagem em massa da população tenham ajudado o país a ter um nível relativamente baixo de infecções. Admite-se que isto ocorreu porque as autoridades conseguiram determinar o isolamento dos contaminados com precisão e eficiência. No entanto, Buckeridge (2020), examinando os níveis de infecção de 56 países, não descarta a possibilidade de que fatores genéticos também possam ter contribuído para uma menor percentagem de habitantes infectados por 100 mil habitantes nos asiáticos (incluindo a Coreia do Sul) em relação aos europeus. Outros aspectos importantes estão relacionados à pirâmide populacional e à cultura. Na Europa, onde há uma proporção maior de idosos, pode-se atribuir parte dos efeitos drásticos de infecções e também no número de óbitos a esta característica. Do ponto de vista da cultura, pode ser que a população tenha respondido melhor às determinações governamentais, o que não ocorre em muitas das culturas latinas, levando a um efeito mais forte do isolamento social para a diminuição no espalhamento da doença.

Durante o espalhamento de Sars-Cov-2 pelo planeta, as Cidades Globais rapidamente se tornaram “*hubs*” de contaminação em seus países. Cidades Globais como Nova York, Londres, Paris, São Paulo e outras apresentam características peculiares como mesclas de cidadãos de diferentes origens, com culturas distintas e desigualdade socioeconômica. Tudo isso torna a compreensão do avanço da Covid-19 mais complexa. Nessas cidades, etnias distintas convivem. Na Inglaterra já foi verificado que britânicos de etnia negra apresentavam o dobro de mortes em relação a outras etnias.⁴ Em muitas das Cidades Globais, especialmente as maiores, há diferentes níveis de desigualdade socioeconômica. Na cidade americana de Nova York, um atraso nas medidas de isolamento social levou a um aumento vertiginoso de casos, com impactos sociais significativos nas camadas mais pobres da população.⁵

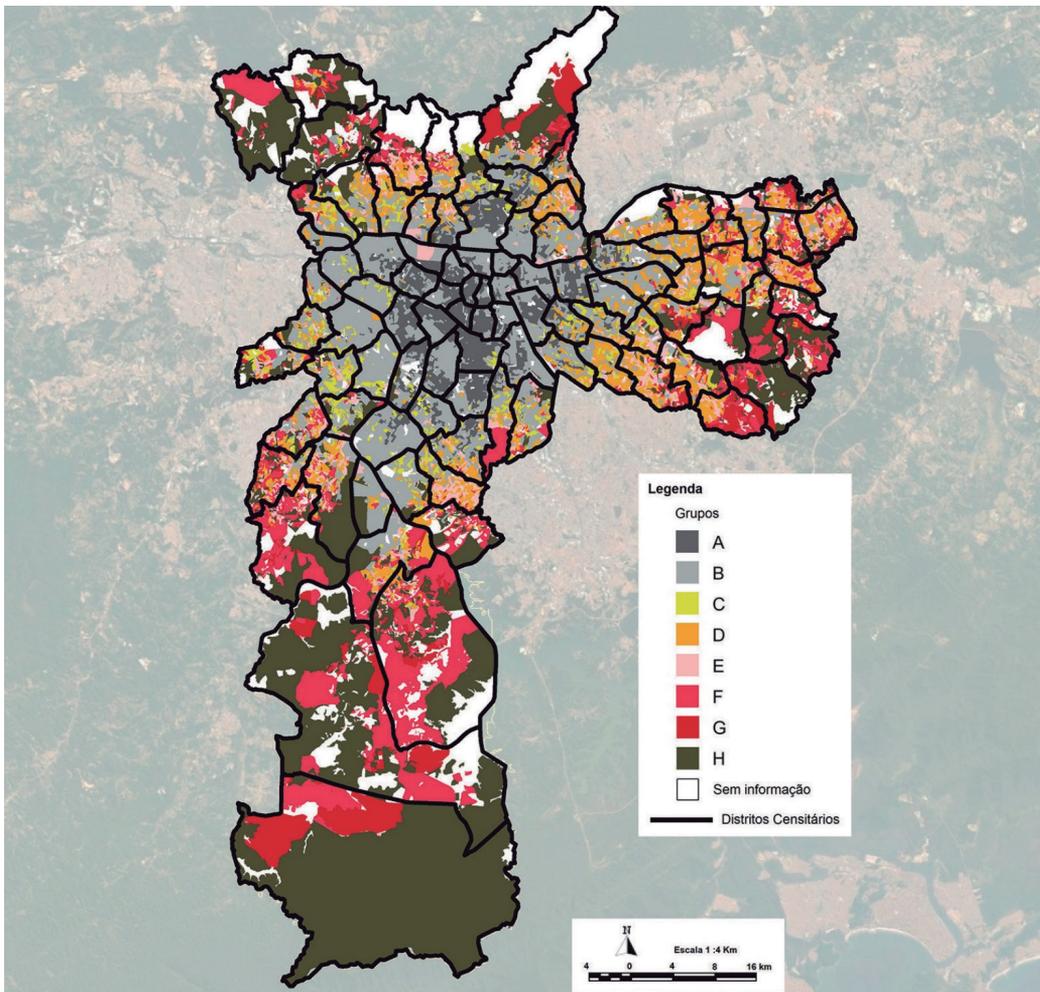
É possível que em cada cidade, estruturas urbanas distintas também tenham exercido um papel importante, junto aos demais fatores, no avanço da pandemia. Vale a pena, portanto, examinar como a estrutura urbana se relaciona, localmente, com o espalhamento da Covid-19. No presente trabalho, estudamos a estrutura urbana da cidade de São Paulo usando uma ferramenta de análise de sistemas (software BioNetStat). Essa ferramenta computacional permite examinar sistemas complexos através de avaliação estatística (Anova de redes) de como diversas variáveis interagem na determinação do comportamento de um determinado fenômeno (Jardim et al., 2019).⁶ Inicialmente o BioNetStat

foi usado para abordar problemas biológicos (Toledo, 2019). Porém, o seu uso para outros sistemas de alta complexidade, no sentido de compreender como diversas variáveis determinam o comportamento de um fenômeno complexo, foi proposto para utilização em problemas urbanos.⁷

Em fenômenos de alta complexidade, um determinado comportamento quase nunca tem uma única causa. Consequentemente, múltiplas causas, com diferentes intensidades de influência, irão moldar o comportamento de um sistema complexo. Como sistemas complexos são também dinâmicos, as diferentes causas ainda podem ter suas respectivas influências agindo de forma não contínua (ou flutuante). Em uma cidade, uma das formas de usar dados que permitam análises sistêmicas, e, portanto, examinar a cidade como um sistema complexo é usar os padrões urbanos definidos por Nery et al. (2019). No presente trabalho, variáveis do censo de 2010 (Tabela 1) foram usadas para acessar as correlações entre padrões urbanos como definidos por Nery et al. (2019). Inicialmente foi feita uma análise geral, examinando as correlações entre as 19 variáveis descritas na Tabela 1 de acordo com os oito padrões urbanos definidos por Nery et al. (2019). Essa análise permitiu distinguir estatisticamente grupos de padrões urbanos na cidade que possibilitam uma visão distinta da político-administrativa (distritos) que são divisões artificiais e não permitem vislumbrar – como fazem os padrões urbanos – detalhes mais próximos da real estrutura da cidade de São Paulo. Após a distinção de três subgrupos de padrões urbanos (ver explicações sobre a Figura 3), refizemos as análises, mas agora incluindo dados de casos e óbitos de Covid-19 nas análises de redes. Essas análises permitiram visualizar diferentes grupos de variáveis que parecem influenciar o espalhamento da Covid-19 na cidade. Os dados mostraram que fatores como nível educacional, nível de renda, tempo e número de viagens para chegar ao trabalho, fornecimento de água, densidade populacional, entre outros, foram variáveis concorrentes que, em diferentes níveis, determinaram de forma conjunta os padrões de avanço da pandemia na metrópole paulistana.

Nas grandes cidades brasileiras há uma característica que potencializa ainda mais a contaminação local. Trata-se da desigualdade social.⁸ Em março/abril de 2020, quando as análises deste trabalho foram feitas, o epicentro da Covid-19 era a cidade de São Paulo.

Do ponto de vista de sua estrutura, a cidade de São Paulo se apresenta como um mosaico contendo oito padrões urbanos (Nery et al., 2020). Utilizando 19 indicadores segundo Nery et al. (2019), os autores dividiram a cidade em padrões denominados de A até H (Figura 1). Nas regiões mais centrais (A, B e C), onde se encontram os padrões com infraestrutura contendo alta verticalização e menor proporção de aglomerados subnormais,⁹ é possível aplicar o distanciamento social e o isolamento. No entanto, em áreas da cidade com padrões dos tipos D e E, caracterizadas por possuir maior proporção de aglomerados subnormais e maior densidade demográfica, apresentam limitação substantiva para a medida de isolamento social.



Fonte: Figura extraída de Nery et al. (2019).

Figura 1 – Padrões urbanos definidos da cidade de São Paulo.

Examinando as redes complexas

O processamento do programa BioNetStat produz análises com validade estatística, ou seja, analisa as diferenças entre redes e as distingue estatisticamente, levando assim à diferenciação não entre variáveis únicas, mas entre os diferentes conjuntos de variáveis, já correlacionadas entre si (Jardim et al., 2019). As redes são formadas por “NÓS”, que representam os indicadores analisados (Tabela 1), e “LINKS”, que representam as correlações entre as variáveis. Usando os níveis de correlação, o *software* produz listas de prioridade de variáveis, hierarquizando-as segundo as centralidades das redes. Como a ferramenta computacional BioNetStat permite a comparação entre as redes, gerando uma análise com validade estatística, é possível saber se há redes com padrões hierárquicos similares ou distintos entre as redes analisadas em conjunto. Tais diferenças estatísticas podem ser usadas para produzir dendrogramas¹⁰ que permitem comparar de forma mais simples as redes de cada padrão urbano.

Tabela 1 – Indicadores sociodemográficos agrupados em seis dimensões, cada uma delas contendo diferentes fatores censitários

Sigla	Indicadores	Descrição	Ano/ Período	Fonte
Condições Ambientais				
ARISC	Áreas de risco	Categorias de área de risco geológico	2009-2010	SMS / IPT
PMANC	Proteção aos mananciais	Estar em áreas de proteção aos mananciais	2006	EMPLASA
Condições Habitacionais				
AGL	Aglomerado subnormal	Ser um aglomerado subnormal	1991-2010	IBGE
DENS	Densidade demográfica	Razão do número de residentes pela área do setor	1980-2010	IBGE
DPP	Domicílios permanentes	Proporção de domicílios particulares permanentes em relação ao total de domicílios	1980-2010	IBGE
DPI	Domicílios improvisados	Proporção de domicílios particulares improvisados em relação ao total de domicílios	1980-2010	IBGE
EXURB	Expansão urbana	Período de tempo no qual a área está urbanizada	1881-2010	EMPLASA / IBGE
VERT	Verticalização	Proporção de apartamentos em relação ao total de domicílios	1980-2010	IBGE
Condições Sanitárias e de higiene				
AGU	Atendimento de água	Porção de domicílios com abastecimento de água na rede geral	1991-2010	IBGE
ESG	Atendimento de esgoto	Porção de domicílios com instalação sanitária	1991-2010	IBGE
LIX	Coleta de lixo	Porção de domicílios com coleta de lixo	1991-2010	IBGE
Mobilidade Urbana				
VIAGEM	Viagens	Número de viagens	2000-2008	Metrô/SP
TDESL	Deslocamento	Tempo médio de deslocamento da casa ao trabalho	2007	Metrô/SP
Padrões Criminais				
HOMIC	Homicídio	Categorias de taxas de homicídio	2000-2008	SSP/SP
Perfil Populacional				
POP	População residente	Número de residentes em domicílios particulares permanentes	1980-2010	IBGE
PJM	População jovem masculina	Proporção de residentes na faixa de 10 a 19 anos em relação ao total de residentes	1980-2010	IBGE
CMU	Chefe de família mulher	Proporções de chefes de domicílio mulheres em relação ao total de chefes	1980-2010	IBGE
CAL	Chefe de família alfabetizado	Proporções de chefes de domicílio alfabetizados em relação ao total de chefes	1980-2010	IBGE
CAR	Chefe de família de alta renda	Proporções de chefes de domicílio com rendimento nominal mensal de mais de 20 salários mínimos em relação ao total de chefes	1980-2010	IBGE

Fonte: Modificado a partir de Nery et al. (2019).

Os NÓS das redes possuem zero ou mais LINKS, ou seja, têm correlações com nenhum ou alguns NÓS da rede. Há várias formas de classificar um NÓ de acordo com o número de LINKS que esse possui. Essas classificações são chamadas de centralidades. Há várias delas, mas uma das mais conhecidas e utilizadas para redes complexas é a Centralidade de Grau (CG). A CG de um NÓ corresponde ao número de LINKS recebidos, de forma que a CG será tanto maior – e a sua hierarquia mais alta – quanto maior for o número de LINKS de um dado NÓ. O conjunto de NÓS e LINKS de um arranjo que represente as correlações e as hierarquias é chamado de grafo.¹¹ Assim, é possível ter acesso às relações entre diversas variáveis ao mesmo tempo. Mais do que isso, com as CG, é possível medir os pesos das variáveis num determinado estado de um fenômeno. Em outras palavras, a análise sistêmica permite examinar um fenômeno à luz de diversas variáveis ao mesmo tempo e compreender os diferentes níveis de importância que um conjunto de variáveis tem como causadoras de um fenômeno, distinguindo os seus graus de importância.

A centralidade de grau é calculada a partir da soma dos pesos das conexões que um indicador possui na rede. Dizemos que uma rede A é diferente da rede B se a distância euclidiana entre o conjunto de valores de centralidade de grau da rede A para a rede B for estatisticamente diferente de zero. Isso significa que se existe uma mudança significativa na centralidade dos indicadores entre as duas redes podemos dizer que as redes são estatisticamente diferentes. Para a comparação de mais de duas redes, o BioNetStat compara o conjunto de valores de cada rede com uma rede média, que é usada como referência (Jardim et al., 2019).

Como alguns valores assumidos pelos indicadores são categóricos, usamos a correlação de Spearman para a construção das conexões. Os p-valores das correlações são corrigidos por múltiplos testes, por FDR (False Discovery Rate) (Benjamini; Hochberg, 1995). Apenas as correlações estatisticamente significativas, ou seja, com p-valor corrigido menor que 0,05, foram usadas para construir um LINK. Além disso, o valor de correlação entre os indicadores é designado como peso do link entre eles (Figura 2).

Um olhar complexo sobre São Paulo

Neste trabalho, buscamos entender como a relação entre os indicadores se altera nos diferentes padrões urbanos, baseados em uma análise sistêmica da cidade de São Paulo. Utilizamos o programa BioNetStat (Jardim et al., 2019), que é capaz de produzir redes complexas a partir da correlação entre os indicadores.

As análises são baseadas nos dados obtidos no trabalho de Nery et al. (2019). O referido artigo utilizou dados a partir do censo de 2010 do IBGE, da pesquisa de origem-destino de 2007 do metrô de São Paulo, da Prefeitura do Município de São Paulo de 2010 e da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (Emplasa) 2003 e 2006. Os dados estão localizados de acordo com os setores censitários em vigor no censo de 2010 e foram a base para a criação dos indicadores intraurbanos. O setor censitário é a unidade amostral definida pelo IBGE por critérios operacionais para a coleta de dados. Cada setor censitário possui em torno de 250 a 350 domicílios, sendo considerado uma análise de escala local. Para o município de São Paulo foram delimitados 18.953 setores Censitários em 2010.

No presente trabalho, utilizamos como base os oito padrões urbanos definidos por Nery et al. (2019) (Figura 1), considerando os 19 indicadores usados pelos autores (Tabela 1). Os indicadores foram subdivididos em seis dimensões: Mobilidade Urbana, Padrões criminais, Condições sanitárias, Condições ambientais, Condições habitacionais e Perfil populacional (Tabela 1 e Figura 2).

A comparação entre as redes dos oito padrões urbanos mostrou a existência de pelo menos uma rede diferente dentre elas (p-valor < 0,001). A posterior comparação par-a-par das redes nos permitiu verificar que todas as redes são estatisticamente diferentes entre si. A partir daí, fizemos uma investigação das similaridades através de uma análise de agrupamento, derivada das distâncias euclidianas par-a-par de todas as variáveis. O teste de comparação par-a-par nos permitiu obter uma matriz de distância entre as oito redes, que é mostrado na Figura 3.

Construção das redes urbanas paulistanas

Para as análises deste trabalho foram considerados como NÓS cada uma das variáveis da Tabela 1. Para cada um dos padrões urbanos foi construída uma rede considerando a correlação entre valores dos indicadores nos setores censitários classificados dentro de cada padrão urbano.

A Figura 2 mostra uma visão geral das redes dos oito padrões urbanos. Algumas características dos padrões passam a ser vistas, como a formação de uma sub-rede menos conectada com a rede central no que concerne ao grupo de variáveis de saneamento (água, lixo e esgoto) e de parâmetros habitacionais. Em todos os grafos, essas variáveis aparecem em uma região mais periférica da rede. No entanto, relativamente pouco pode ser concluído a partir dos grafos da Figura 2, sendo necessário, para ter acesso à complexidade das comparações entre as redes, algumas análises mais profundas.

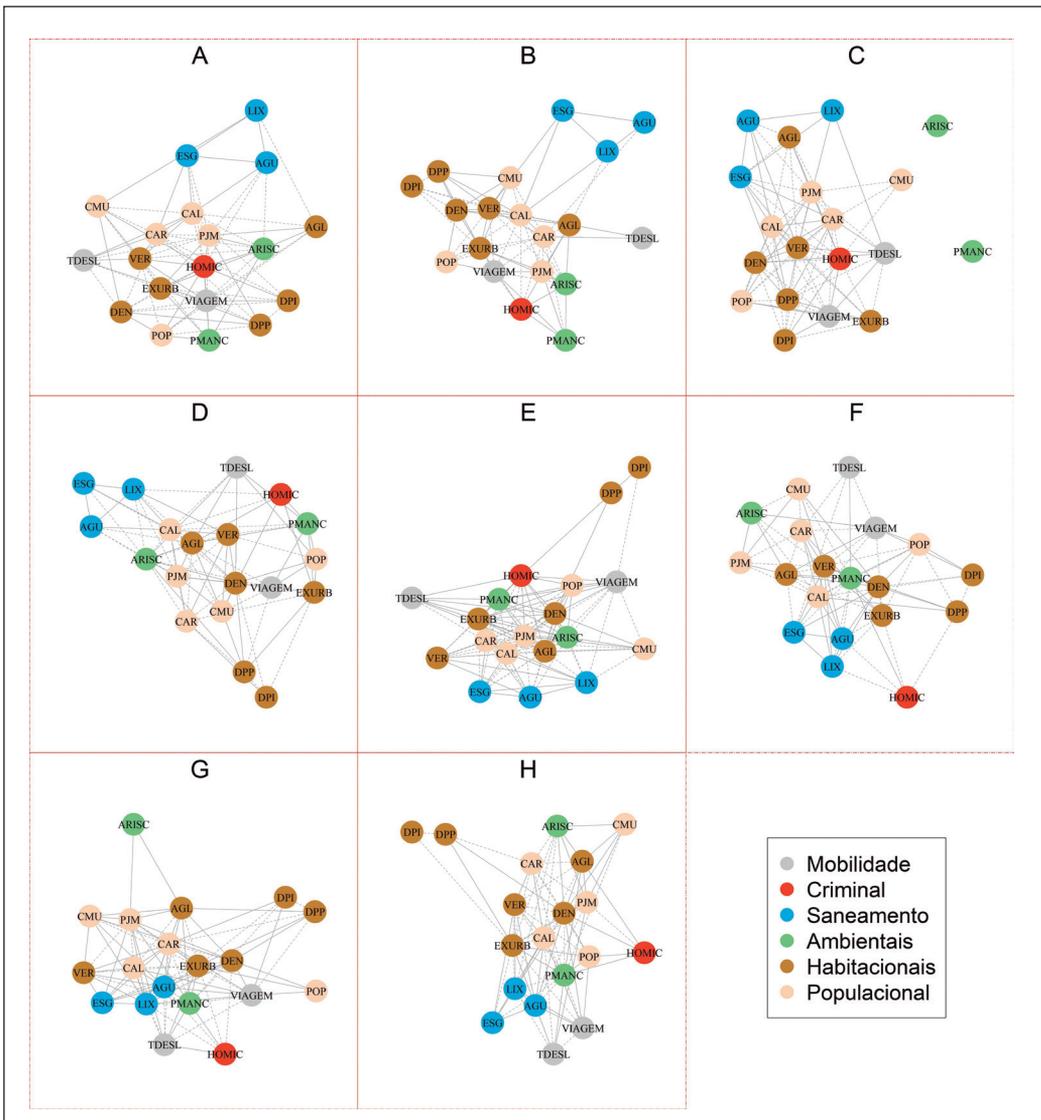
Comparação entre as redes urbanas de São Paulo

Com o objetivo de aprofundar a comparação entre as redes foi construído um dendrograma que permitiu visualizar como os padrões urbanos se separam no município de São Paulo (Figura 3)

A análise de agrupamento nos permitiu confirmar que os padrões urbanos relacionados aos padrões de maior ocorrência nas áreas centrais (A, B e C) são mais próximos entre si e distintos de D e E. Esses últimos se distinguem dos padrões que ocorrem com maior frequência nas regiões mais periféricas da cidade (G, F e H). Nota-se uma separação que se caracteriza por uma distribuição que lembra um padrão do tipo centro-periferia.

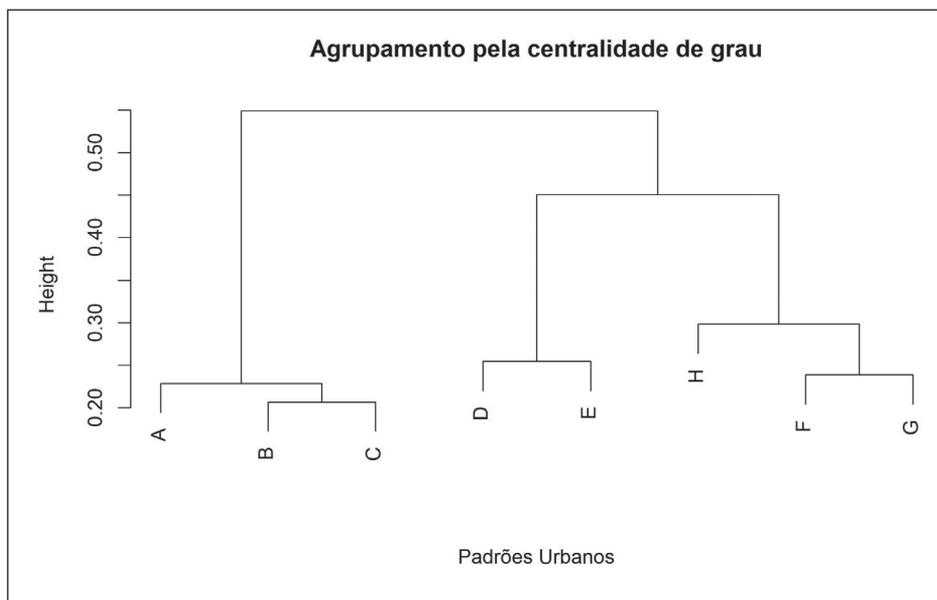
Para se poder analisar mais aprofundadamente essa separação, foi construído um *heatmap* (Figura 4) com os valores de centralidades de grau para cada setor censitário de acordo com os diferentes padrões urbanos. Numa primeira análise, verifica-se que as maiores centralidades de grau que parecem distinguir os padrões urbanos estão relacionadas a habitação e saneamento. É importante ressaltar que ter uma maior CG para uma dada variável não significa algo positivo ou negativo. A CG apenas aponta que há mais ou menos LINKS conectados com aquela variável. Assim, é importante que o mapa de centralidades (*heatmap*) seja sempre comparado com os tipos de LINKS, ou seja, se são positivos ou negativos.

A, B e C, que correspondem às áreas mais centrais da cidade (Figura 1) apresentam centralidades mais altas para verticalização (VER), proporção de chefes de domicílio com rendimento maior (CAR) e de chefes de família com maior nível educacional (CAL). Já os padrões D e E, onde há maior proporção de habitações subnormais, as CG mais altas são a densidade demográfica (DENS), população jovem masculina (PJM), aglomeração subnormal (AGL) e o nível educacional (CAL). A alta CG de CAL em todos os padrões urbanos nos mostra que a alfabetização do chefe de família é um importante indicador de outras características do setor censitário, pois está sempre positivamente cor-



Fonte: Elaboração própria.

Figura 2 – Redes complexas formadas com os setores censitários do município de São Paulo (Censo de 2010) utilizando a ferramenta computacional BioNetStat conforme descrita por Jardim et al. (2019). As redes foram construídas separadamente para cada padrão urbano (Nery et al., 2019). As cores utilizadas nos NÓS se referem à subclassificação agrupada dos fatores censitários (ver quadro em baixo à direita). Os LINKS são de dois tipos: linhas contínuas representam correlações positivas e linhas descontínuas as correlações negativas.



Fonte: Elaboração própria.

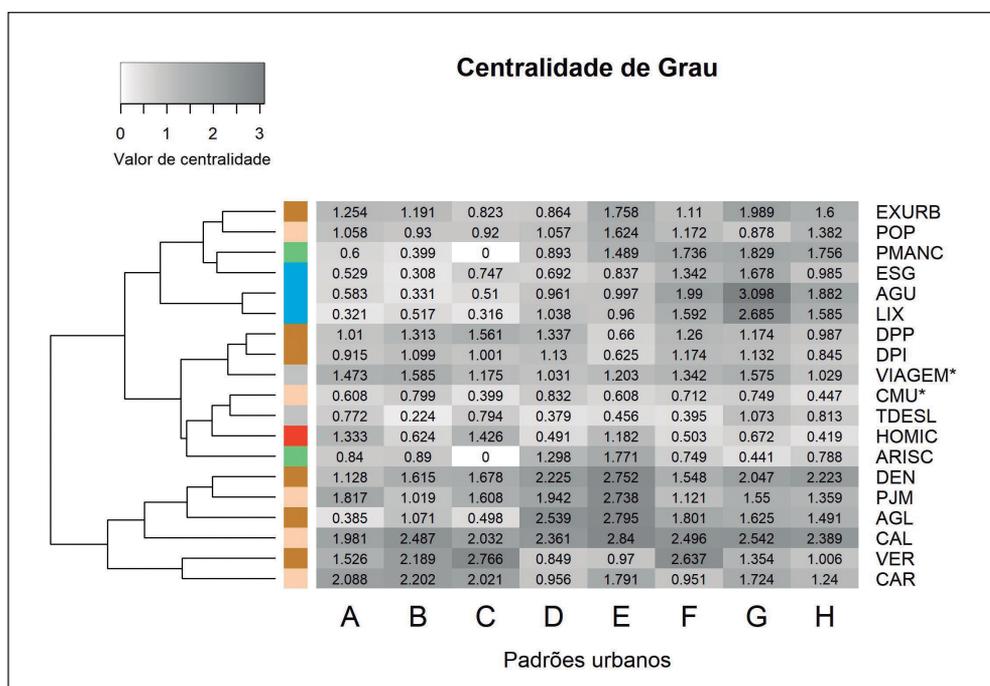
Figura 3 – Dendrograma comparando as redes complexas obtidas após aplicação da ferramenta BioNetStat aos dados de setores censitários do município de São Paulo. Os oito padrões urbanos (A-H) puderam ser separados em três grupos distintos: ABC, DE e HFG.

relacionado com os indicadores sanitários e de higiene (AGU, LIX e ESG), bem como com a renda (CAR) e verticalização (VER). Além disso, está sempre negativamente correlacionada com a ocorrência de aglomerados subnormais (AGL) bem como com a proporção de jovens do sexo masculino (PJM). No caso do agrupamento F, G e H (dendrograma da Figura 3), F tem a característica única de ter maior CG de verticalização (VER). Esse indicador está positivamente correlacionado com os serviços de higiene (AGU, LIX e ESG), densidade populacional (DENS), domicílios permanentes (DPP), chefes de família mulheres (CMU), renda (CAR) e alfabetização (CAL). Por outro lado, setores caracterizados como aglomerados subnormais estão relacionados à ocorrência em área de risco ARISC, proteção à mananciais (PMANC), densidade populacional (DENS) e maior número de população jovem masculina (PJM). O padrão G apresenta características peculiares em relação aos demais. Observam-se altas CG (dentre as maiores de todas as que foram medidas) em relação a algumas das variáveis de saneamento, especialmente a porção de domicílios que é atendida por fornecimento de água (AGU) e que apresenta coleta de lixo (LIX).

Essa análise mostra que há uma vantagem no uso de múltiplas variáveis ao mesmo tempo para examinar a estrutura da cidade. Uma das vantagens é que podem ser visualizados vários indicadores como possíveis causas da desigualdade observada no município de São Paulo. Acreditamos que esta visão poderá ajudar

na determinação de agendas para projetos que visem diminuir a desigualdade e com isto melhorar o bem-estar do cidadão paulistano. É possível sugerir que, a partir de uma análise sistêmica como a utilizada neste trabalho, seja possível desenhar políticas públicas que considerem ações sistêmicas que levem em conta conjuntos de variáveis que se correlacionam mais fortemente e que apresentem as maiores centralidades de grau. Para tentar agir no sentido de diminuir a desigualdade que se apresenta no município de São Paulo, parece ser relevante agir com uma única política pública que leve em consideração a educação, e melhoria da habitação e o saneamento de regiões que apresentam padrões urbanos D até H, considerando que estas políticas talvez devam ser distintas para os subgrupos D-E e F-G.

É importante salientar, finalmente, que este trabalho trata apenas de uma análise estrutural e que o número de variáveis é limitado. Resta ainda testar se políticas públicas sistêmicas teriam ou não maior sucesso do que políticas que façam atribuição a um único fator.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 4 – Análise de centralidade de grau dos indicadores em cada rede de padrão urbano. Heatmap indica o valor de centralidade de grau, a soma das conexões de cada indicador em cada rede. Nas colunas estão os padrões urbanos e nas linhas cada um dos indicadores. Ao lado esquerdo da figura as linhas estão identificadas pela cor do tipo de indicador mostrado na Tabela 1. O dendrograma agrupa os indicadores de acordo com sua variação entre as redes dos padrões urbanos. * Variáveis sem diferença significativa na centralidade de grau.

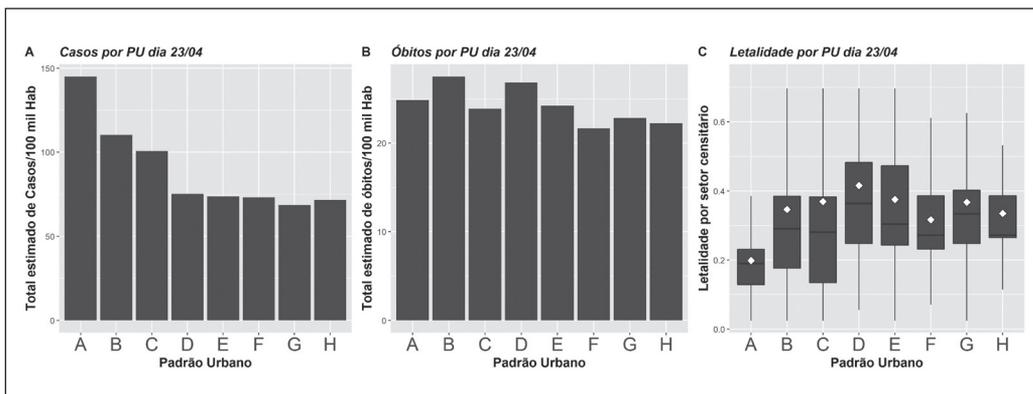
Complexidade urbana e a Covid-19

A utilização dos dados da pandemia da Covid-19 neste trabalho teve duas motivações. Uma foi a de demonstrar que o uso do BioNetStat em conjunto com a divisão da cidade em padrões urbanos poderia funcionar para aplicações em políticas públicas. É, contudo, importante salientar que os dados de estrutura urbana que utilizamos são de uma década atrás e que houve mudanças na estrutura urbana desde então. Dois exemplos são o transporte público, com uma diminuição do tempo de viagens ao trabalho devido aos corredores de ônibus e também no processo de invasão de regiões de mananciais que vem se exacerbando cada vez mais. Mesmo assim, com a segunda motivação, que foi a de examinar a pandemia da Covid-19, verificamos correlação sistêmica com estrutura urbana de São Paulo, em particular em relação à desigualdade social. Vimos que esta tem alguma ressonância na realidade atual, uma vez que os processos de mudança em São Paulo têm sido relativamente lentos. Assim, acreditamos que a maioria das correlações aqui expostas sejam válidas também para entender como um evento extremo tão intenso como a pandemia Covid-19 pode ter relações com o sistema urbano paulistano como um todo.

O número de casos confirmados e óbitos (suspeitos + confirmados) por Covid-19 analisados neste trabalho foram os computados até o dia 23 de abril pela prefeitura de São Paulo. Eles estavam disponíveis no boletim epidemiológico do dia 30 de abril de 2020.¹² Os dados foram tabelados manualmente a partir dos valores apresentado no mapa, para cada distrito administrativo.

Para relacionar os números de casos e óbitos descritos por distrito administrativo com os indicadores de padrões urbanos, dividimos o número de óbitos no distrito administrativo pelo número total de setores censitários contidos naquele distrito. Devido à restrição na disponibilidade de dados menos agrupados, decidimos adotar essa estimativa que considera o número de casos e óbitos equivalentes nos setores censitários de cada distrito. Apesar da restrição na interpretação dos resultados, foi possível observar relações significativas entre os números de casos e óbitos e os indicadores nos padrões urbanos.

Como os padrões urbanos ressaltam as diferenças entre os indicadores de setores censitários na cidade, esperávamos verificar uma discrepância entre o número de casos e óbitos entre os diferentes padrões urbanos. Para isso somamos os números de casos e óbitos dos setores censitários para cada padrão urbano e ponderamos esses valores por 100 mil habitantes (Figuras 5 A e B).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 5 – Números de Casos (A) e Óbitos (B) por 100 mil habitantes e o boxplot da distribuição da Letalidade (C) em cada um dos Padrões Urbanos. O losango branco indica a média de letalidade dos setores censitários de cada padrão urbano.

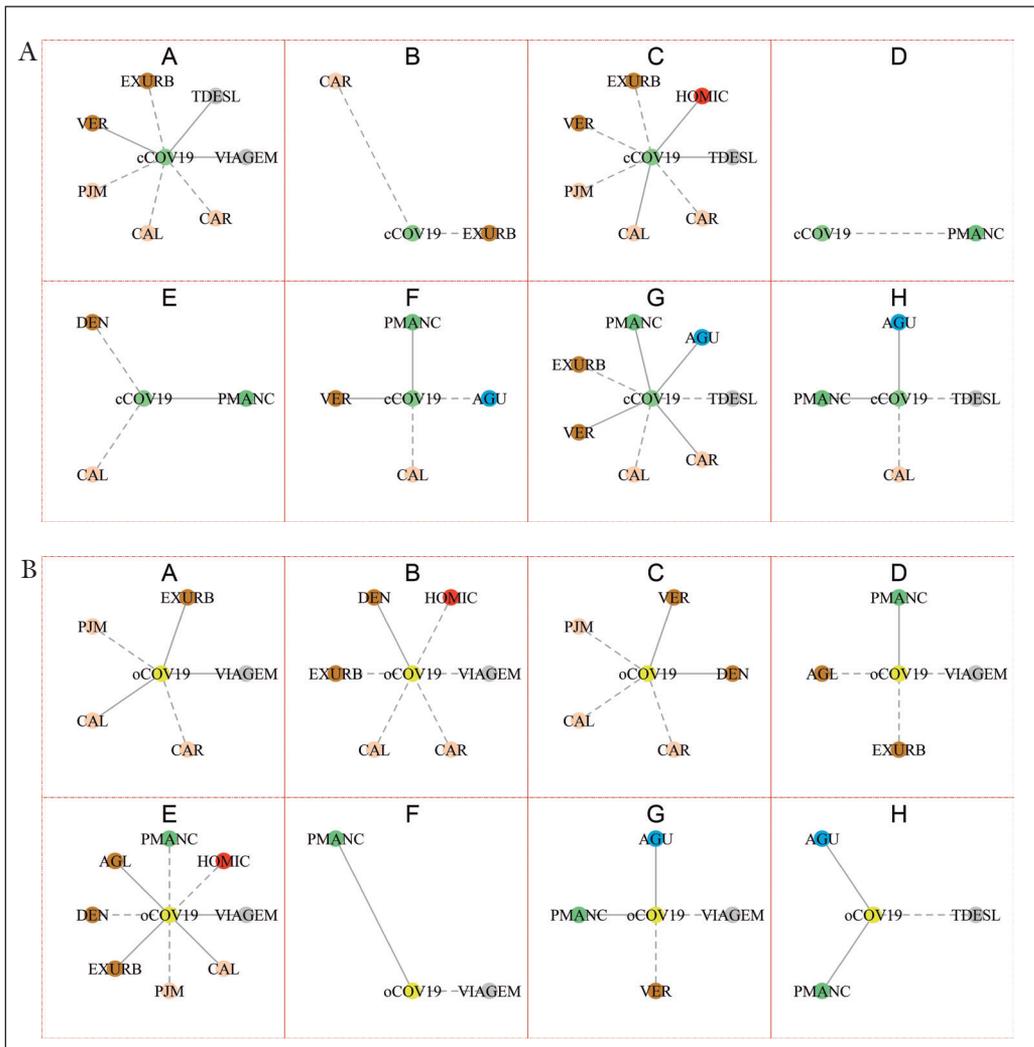
Uma das hipóteses mais discutidas durante o episódio epidêmico da Covid-19 no Brasil foi a de que um dos maiores problemas, possivelmente o grande indutor de aumento de velocidade no espalhamento da doença no espaço urbano, seria a desigualdade. Isso porque ela é refletida na existência de favelas (aglomerados subnormais de ocorrência principalmente nas zonas D, E, F, G e H), onde há agrupamentos de famílias de forma distinta das regiões urbanas mais abastadas das capitais brasileiras (em São Paulo, seriam as zonas A, B e C). Analisando as taxas de casos por 100 mil habitantes vemos que até o dia 23 de abril de 2020, os padrões urbanos mais atingidos eram A, B e C (Figuras 5A). Isso ocorreu porque a Covid-19 chegou a São Paulo através de viajantes que haviam estado na Itália. No entanto, verificamos que na mesma data o número de óbitos era maior em B e D (Figuras 5B). Ao calcular as taxas de letalidade (óbitos por casos) para os diferentes padrões urbanos, verificamos que estas eram maiores em D e E (Figura 5C). Esses resultados sugerem que a expansão da Covid-19 em São Paulo pode ter obedecido o padrão já esperado de que regiões com estrutura urbana deficiente da cidade tenham sido proporcionalmente mais afetadas pela doença.

Com a finalidade de levantar com quais indicadores sociais os padrões de casos e óbitos por Covid-19 estavam relacionados, realizamos separadamente uma inclusão dos valores das ocorrências nas redes. As principais relações estabelecidas entre o número de casos e óbitos com os indicadores são apresentadas na Figura 6. Como a tônica principal de combate à Covid-19 foi isolamento social, era esperado que as variáveis relacionadas à habitação (AGL, DENS, DPP, DPI, EXU e VERT – ver Tabela 1) tivessem uma influência maior não só no processo de avanço da doença, mas também nos óbitos (Figura 6B). Ser ou não um aglomerado subnormal (AGL) está negativamente correlacionado com os

óbitos em D, ao contrário do que era esperado. Por outro lado, em E, o indicador AGL está positivamente correlacionado com um maior número de óbitos, confirmando a hipótese inicial. Um outro subgrupo de indicadores associado tanto aos casos de Covid-19 quanto aos óbitos pela doença é o das variáveis populacionais (PJM, CAL e CAR – Figura 6B). No caso da incidência de casos de Covid-19, a variável CAR (chefe de família de alta renda) e CAL (chefe de família alfabetizado) parecem ter sido as principais determinantes (Figura 6A). Um terceiro indicador relevante para os padrões urbanos de D a H é a relação como a presença de áreas de proteção a mananciais. O indicador ambiental pode estar indiretamente associado a outras variáveis em locais onde se espera que o espalhamento de doenças seja maior. Será necessário investigar mais a fundo as características destas populações para compreender quais fatores podem ter influenciado os resultados. O Atendimento de água (AGU) parece ter sido importante na determinação dos casos de Covid-19 para os padrões de F a H. A influência do atendimento de água (AGU) como variável com maior peso nas redes, indica que a higiene pessoal pode ter sido fator preponderante para os casos de Covid-19.

No caso do subgrupo de mobilidade, como esperado, o aumento no número de viagens (VIAGEM) e o tempo médio de deslocamento (TDESL) se mostraram importantes como fatores determinantes do aumento de casos e óbitos de Covid-19 em São Paulo. Por outro lado, esse subgrupo não apresenta um padrão de correlação com o número de óbitos, sendo ora positivo, ora negativo. Uma possível explicação para essas discrepâncias é que houve desde 2010 mudanças importantes nesses fatores. Teremos que aguardar o novo censo para checar estas correlações.

As análises sistêmicas do município de São Paulo com a inclusão dos dados de casos e óbitos de Covid-19 demonstram que múltiplos fatores influenciam em conjunto no avanço da doença na cidade. Além disso, os fatores influenciadores são distintos dependendo do padrão urbano considerado. Nossos resultados dão suporte à hipótese de que a estrutura da cidade é fundamental num processo epidêmico. Portanto, medidas que diminuam as desigualdades, pelo menos no que concerne à estrutura urbana relacionada à educação, nível de renda, habitação, saneamento e população deveriam ser alvos de políticas públicas sistêmicas que possam preparar a cidade para eventos epidêmicos tais como o da Covid-19 e de outros que possam se apresentar no futuro.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 6 – Correlações dos números de Casos (A) e Óbitos (B) com os 19 indicadores sócio demográficos em cada um dos 8 padrões urbanos. Em (A) o fator Covid (casos) é central em colorido em verde claro. Em (B) o fator Covid-19 (Óbitos) é colorido e amarelo. As demais cores obedecem ao padrão da Tabela 1: cinza-mobilidade; vermelho-criminal; azul-saneamento; verde-ambientais; marrom-habitacional; rosa claro-populacional. As linhas contínuas representam correlações positivas e as linhas descontinúas as correlações negativas. Apesar de não apresentados, os valores das correlações mostrados nas figuras variam de 0,15 a 0,5.

Conclusões e perspectivas

Um primeiro ponto importante a salientar antes das conclusões é que, neste artigo, estamos utilizando dados sobre o município de São Paulo de dez anos atrás, de forma que a estrutura da cidade que examinamos deve apresentar diferenças em relação à estrutura atual. De fato, houve na última década avanços no sistema de transportes, com os corredores de ônibus e outros avanços na área de habitação. No entanto, a análise realizada aqui, com a aplicação do Bio-NetStat sobre os oito padrões urbanos em relação ao avanço da pandemia, ainda encontra alguma ressonância da estrutura urbana que utilizamos aqui.

Mesmo com essa ressalva colocada, nossas análises parecem ainda demonstrar que a metodologia acoplada de uso dos padrões urbanos junto ao Bio-NetStat tenha sido significativamente demonstrada. Nossos dados mostram que políticas públicas sistêmicas poderão no futuro ser mais eficientes do que políticas públicas com agendas unitárias. De fato, a gestão sistêmica de São Paulo já foi proposta no âmbito de campanha política,¹³ introduzindo a ideia de que a complexidade deveria ser abordada no campo político. Nossa abordagem neste trabalho fornece uma ferramenta que poderá ser utilizada para a gestão sistêmica da cidade de São Paulo. O mosaico estrutural existente no município de São Paulo deveria ser de políticas que considerassem, ao mesmo tempo, elementos relacionados à educação, nível de renda, habitação, saneamento, transporte e outros fatores estruturais urbanos. Desenvolver políticas públicas que abordem apenas um dos fatores não resolverá a alta vulnerabilidade do município a eventos extremos, tais como a pandemia da Covid-19 e os efeitos das mudanças climáticas. Um desafio será desenhar estratégias que contemplem diferentes graus de influência destes fatores sobre os distintos padrões urbanos da cidade. As centralidades de grau e o sentido das correlações (positivas ou negativas) poderão ser combinados no futuro para que políticas públicas mais bem embasadas possam ser desenhadas pelo poder público junto aos cientistas. Usando o exemplo da pandemia da Covid-19 verificamos que, de fato, a estrutura urbana parece ter papel preponderante na determinação dos efeitos que eventos extremos possam ter sobre a cidade de São Paulo. Em contraposição às artificiais divisões administrativas existentes hoje, o município paulista é claramente um conjunto de “cidades” com vulnerabilidades muito distintas em resposta a fatores externos. Se as análises sistêmicas que mostramos aqui se mostrarem robustas frente a outros eventos extremos, talvez seja o momento de repensar a gestão urbana paulistana, adequando-a melhor à realidade que hoje se apresenta, ou seja, aos seus padrões urbanos.

Notas

- 1 Agradecimentos – Os autores agradecem a Marcelo Nery e Sergio Adorno terem cedido os dados usados para visualizar os padrões urbanos e as discussões havidas sobre

o tema. Também agradecem aos colegas Ricardo Young, Herton Escobar e Audrey Buckeridge as discussões, leituras críticas e valiosas sugestões.

- 2 Coronavirus Resource Center (Johns Hopkins University & Medicine). Disponível em: <<https://coronavirus.jhu.edu/map.html>>.
- 3 Dados do website *Information is beautiful* Disponível em: <https://information-isbeautiful.net/visualizations/covid-19-coronavirus-infographic-datapack/?utm_source=MAIN+Newsletter+-+Exclusive+first+looks+at+our+graphics+%26+interactives&utm_campaign=06536e0220-EMAIL_CAMPAIGN_2020_03_20_07_33_COPY_01&utm_medium=email&utm_term=0_0f32d82422-06536e0220-69136581&mc_cid=06536e0220&mc_eid=d6a48d12bc>. Acesso em: 7 jun. 2020. Os dados compilados pelo site foram retirados do US Centers for Disease Control & Prevention, WHO e New York Times.
- 4 Coronavirus: Black Britons face ‘twice the risk’ of death, says ONS. BBC – Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/uk-52574931>>, Acesso em: 7 jun. 2020.
- 5 Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mundo/2020/04/coronavirus-mata-negros-e-pobres-de-forma-desproporcional-nos-eua.shtml>>.
- 6 Para download gratuito do BioNetStat: Disponível em: <<https://bioconductor.org/packages/release/bioc/html/BioNetStat.html>>.
- 7 Redes complexas: software pretende desenvolver forma diferente de abordar o mundo. Rádio USP. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/software-pretende-desenvolver-uma-forma-diferente-de-abordar-o-mundo/>>.
- 8 Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/padrao-de-disseminacao-urbana-da-covid-19-reproduz-desigualdades-territoriais/33226/>>.
- 9 Setores constituídos de no mínimo 51 unidades habitacionais carentes, em sua maioria, de serviços públicos essenciais, ocupando ou tendo ocupado, até período recente, terreno de propriedade alheia (pública ou particular) e estando dispostas, em geral, de forma desordenada e densa.
- 10 Dendrogramas são formas de arranjo de variáveis que organizam, na forma dos ramos de uma árvore, as correlações entre as variáveis em ordem ascendente ou descendente (Figura 4). Eles mostram os agrupamentos de variáveis que têm similaridades entre si.
- 11 Aqui utilizamos a palavra Grafo, para distingui-la de Gráfico. No segundo caso, trata-se de um simples mapa de correlações entre duas variáveis. Há gráficos de vários tipos, inclusive tridimensionais, mas com mais de três variáveis as representações gráficas se tornam bem mais difíceis de interpretar. Já no Grafo (Figura 2), é possível representar um número bem maior de variáveis, permitindo uma análise hierárquica dos pesos das variáveis em um determinado fenômeno.
- 12 Boletim da Prefeitura Municipal de São Paulo. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/saude/vigilancia_em_saude/doencas_e_agrivos/coronavirus/index.php?p=295572>.
- 13 Young, R. O pensamento complexo no campo político: um olhar para o mandato de Ricardo Young. Disponível em: <http://www2.dlippi.com.br/producaoweb/relatorio_ricardo_young_jul2015/relatorio_ricardo_young/>.

Referências

- BENJAMINI, Y.; HOCHBERG, Y. Controlling the false positive rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, v.57, n.1, p.289-300, 1995.
- BUCKERIDGE, M. S. Global analysis of the infection by Covid-19. *Ambiente & Sociedade* (aceito para publicação em maio de 2020).
- CHINAZZI, M. et al. The effect of travel restrictions on the spread of 2019 novel coronavirus (Covid-19) outbreak. *Science*, v.368, p.395-400, 2020.
- JARDIM, V. C. et al. BioNetStat: A tool for biological networks differential analysis. *Frontiers in Genetics*, v.10, p.594, 2019.
- LIU, Y. et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 into two Wunan hospitals. *Nature*, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2271-3>.
- NERY, M. B.; SOUZA, A. A. L.; ADORNO, S. Os padrões urbano-demográficos da capital paulista. *Estudos Avançados*, v.33, n.97, p.7-36, 2019.
- KISSLER, S.; TEDIJANTO, C.; LIPSITHCH, M. et al. Social distancing strategies for curbing the COVID-19 epidemic. Harvard University DASH repository <http://nrs.harvard.edu/urn-3:HUL.InstRepos:42638988>. 2020.
- TOLEDO, K. Software permite comparar mais de duas redes complexas simultaneamente. Agência Fapesp. 2019. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/software-permite-comparar-mais-de-duas-redes-complexas-simultaneamente/31395/>.

RESUMO - No primeiro semestre de 2020 a cidade de São Paulo foi assolada pela pandemia da Covid-19. Como uma Cidade Global, São Paulo acabou se tornando o epicentro da pandemia no Brasil. Sendo uma metrópole com alto nível de desigualdade, São Paulo acabou salientando as vulnerabilidades a ela relacionadas. Neste trabalho, aplicamos a ferramenta sistêmica BioNetStat aos dados censitários do município de São Paulo. Baseamos-nos em trabalho prévio de Nery et al. (2019) que distinguiu oito padrões urbanos. Primeiro mostramos que as análises sistêmicas demonstram que diferentes conjuntos de fatores caracterizam cada um dos padrões urbanos. Mostramos que existem vantagens na análise conjunta de fatores para estudo da estrutura da cidade de São Paulo. Numa segunda análise, aplicamos a abordagem sistêmica com a inclusão de casos e óbitos de Covid-19. Os resultados mostraram que a pandemia levou a uma maior letalidade em regiões com padrão urbano coincidente com baixos níveis de educação e renda, maior número de viagens ao trabalho e com falhas no abastecimento de água. Concluímos que para lidar com a vulnerabilidade de São Paulo a situações extremas – como a pandemia da Covid-19 – políticas públicas sistêmicas deveriam ser utilizadas. Sugerimos que talvez seja o momento de adaptar a gestão urbana aos padrões urbanos ao invés da tradicional abordagem político administrativa.

PALAVRAS-CHAVE: Covid-19, Gestão sistêmica, São Paulo, Políticas públicas.

ABSTRACT – During the first semester of 2020, the city of São Paulo was ravaged by the covid-19 pandemic. As a global city, São Paulo became the epicenter of the pandemic in Brazil. Displaying high levels of inequality, São Paulo ended up exacerbating the vulnerabilities related to the outbreak. In this work, we applied the software BioNetStat to census data pertaining to the city of São Paulo. Our analysis was based on the work of Nery et al. (2019), which proposed the existence of eight urban patterns. We first show that the systemic analysis demonstrates that different groups of factors characterize each urban pattern. We also show the advantages of a multiple factors analysis in the study of the city structure of São Paulo. In a second study, we applied the systemic approach with the inclusion of covid-19 cases and deaths in the data. The results show that the pandemic led to higher lethality in regions with urban patterns coinciding with lower levels of education and income, a higher number of trips to work, and failures in the water supply system. We conclude that dealing with São Paulo’s vulnerability to extreme events, such as the covid-19 pandemic, demands the application of systemic public policies. We suggest that this might be the moment to adapt the city’s governance to urban patterns, as opposed to the traditional political-administrative approach.

KEYWORDS: Covid-19, Systemic management, São Paulo, Public policies.

Vinicius Carvalho Jardim é biólogo e doutorando do Programa de Bioinformática, Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo. Desenvolveu o software BioNetStat durante seu mestrado. @ – viniciusjc@gmail.com / <http://orcid.org/0000-0001-5816-5340>.

Marcos Silveira Buckeridge é professor titular do Instituto de Biociências e Coordenador do Programa USP-Cidades Globais do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo. @ – msbuck@usp.br / <http://orcid.org/0000-0002-5455-8136>.

Recebido em 10.6.2020 e aceito em 29.6.2020.

¹ Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

^{II} Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.