

Vulnerabilidade estrutural dos hospitais e cemitérios e crematórios da cidade de São Paulo à COVID-19

Relatório 1- 06/05/2020 - 8:00 PM

Observatório COVID19 - Grupo: Redes de Contágio^a & Eduardo X. F. G. Migon^b

Marília Palumbo Gaiarsa^{1,2}, Flavia M. D. Marquitti³, Paula Lemos-Costa⁴, Gustavo Burin⁵, Lucas P. Medeiros⁶, Viviana M. Velásquez⁷, Pamela Santana⁵, Erika Marques Santana⁵, Kate P. Maia⁵, Danilo G. Muniz⁵, Leandro Giacobelli⁵, Ana Paula A. Assis⁵, Irina Birskis-Barros², Mauricio Cantor⁸, Carine Emer⁹, Cecília Andreazzi¹⁰, Mathias M. Pires¹¹, Marina C. Côrtes¹², Diogo Melo¹³, Wesley Dáttilo¹⁴, Rafael L. G. Raimundo¹⁵, Paulo R. Guimarães Jr.⁵

^b - Laboratório de Estudos de Defesa, Escola de Comando e Estado-Maior do Exército (LED/ECEME)

¹ - Department of Entomology, University of California, Riverside, EUA; ² - School of Natural Sciences, University of California, Merced, EUA; ³ - Instituto de Física "Gleb Wataghin", Universidade Estadual de Campinas; ⁴ - Department of Ecology & Evolution, University of Chicago, EUA; ⁵ - Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo; ⁶ - Department of Civil and Environmental Engineering, MIT, EUA; ⁷ - Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Zoologia), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB; ⁸ - Departamento de Ecologia e Zoologia, Universidade Federal de Santa Catarina; Max Planck Institute of Animal Behaviour, Alemanha; ⁹ - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Aves Silvestres - CEMAVE, Cabedelo - PB; ¹⁰ - Instituto Oswaldo Cruz - RJ; ¹¹ - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas (Força-Tarefa UNICAMP COVID-19); ¹² - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP; ¹³ - Departamento de Genética, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo; ¹⁴ - Instituto de Ecologia AC, México; ¹⁵ - Departamento de Engenharia e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba.

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Summary of results and recommendations | 3 |
| 1. Sumário de resultados e recomendações | 4 |
| 2. Detalhamento das análises e resultados | 5 |
| 2.1. Estrutura da rede funerária | 5 |
| Figura 1. Projeção espacial da rede | 7 |
| Figura 2. Conectividade entre módulos | |
| 2.2 Vulnerabilidade de hospitais e cemitérios/crematórios | 8 |
| Figura 3. Projeção espacial da rede com vulnerabilidade dos locais | 10 |
| Figura 4. Vulnerabilidade dos hospitais. | 12 |
| Figura 5. Vulnerabilidade dos cemitérios/crematórios. | 13 |
| 2.3 Otimização do fluxo de vítimas (suspeitas e confirmadas) de COVID-19 entre hospitais e cemitérios/crematórios | 14 |
| Figura 6. Mudanças sugeridas. | 17 |
| 3. Limitações das análises | 17 |
| 4. Agradecimentos | 18 |
| 5. Referências | 18 |
| 6. Tabelas | 19 |

Structural vulnerability of hospitals, cemeteries, and crematoriums of the city of São Paulo to COVID-19

Summary of results and recommendations

This is the first report by the *COVID19 Observatory - Group: Contagion Networks* analyzing mortality data from the city of São Paulo. In this report, we integrated mortality data for the city of São Paulo between 04/02/2020 and 04/28/2020, with information on the flow of victims between hospitals and cemeteries/crematoriums. We included in our analyzes both confirmed and suspected deaths from COVID-19. The main objectives of this report were: (1) to describe the structure of the flow of victims between locations and (2) to suggest changes in the current flow based on geographical distances in order to avoid a potential overload of the mortuary system. We suggest that the city of São Paulo should plan **for a potential overload of the mortuary system** (that is, number of burials), based on the presented results. Thus, our results reinforce the need to adopt specific planning for the management of the extraordinary number of victims of this pandemic. Our predictions are based on the structural analysis of the COVID-19 victim flow network, which shows several hotspots with high vulnerability to system overload. These hotspots concentrate with either the greatest number of deaths (hospital) or of burials (cemetery or crematorium), and therefore have high potential to become overwhelmed by receiving many bodies due to the increase in victims of the pandemic. We recommend **special attention to be given to localities on the east side of São Paulo**, which has both the most vulnerable hospitals in the city, and also houses cemeteries and crematoriums that have a central role in the network and/or are vulnerable. Based on our optimization analysis, we suggest logistical changes in the current flow of bodies from hospitals to cemeteries/crematoriums so as not to overload the funeral system and minimize transportation costs. In this sense, our results are potentially useful for improving the operational planning of the Municipality of São Paulo, ratifying or rectifying actions underway at the municipal level.

1. Sumário de resultados e recomendações

Este é o primeiro relatório do *Observatório COVID19 - Grupo: Redes de Contágio* analisando os dados de óbitos da cidade de São Paulo. Neste relatório, integramos os dados de óbitos da cidade de São Paulo entre os dias 02/04/2020 e 28/04/2020 com informações sobre o fluxo de vítimas entre os hospitais e os cemitérios e crematórios da cidade de São Paulo. Incluímos em nossas análises óbitos confirmados e óbitos suspeitos de COVID-19. Os principais objetivos deste relatório são: (1) descrever a estrutura do fluxo de vítimas entre localidades e (2) sugerir mudanças no fluxo com base em distâncias geográficas de maneira a evitar uma potencial sobrecarga do sistema funerário.

1.1. Principais resultados

- I. A rede formada por hospitais e cemitérios/crematórios possui cinco módulos conectados entre si pelo fluxo de vítimas da COVID-19 (**Figuras 1**).
- II. A análise de modularidade permitiu evidenciar que a região central e leste de São Paulo concentram a maior quantidade de cemitérios, recebendo a maior quantidade de vítimas ("hubs"). Os locais que atuam como "hubs" da rede são: (1) Crematório Municipal Dr. Jayme Augusto Lopes, (2) Cemitério Vila Formosa, (3) Cemitério Vila Nova Cachoeirinha e (4) Cemitério São Luís (**Figura 2**).
- III. Os cinco hospitais mais vulneráveis à potencial sobrecarga do sistema são, em ordem decrescente: (1) Hospital Municipal Tide Setúbal, (2) Hospital Municipal Doutor Carmino Caricchio, (3) Hospital Santa Marcelina Itaquera, (4) Hospital Estadual Vila Alpina e (5) Hospital Estadual de Sapopemba (**Figuras 3 e 4, Tabela 2**).
- IV. Os cinco cemitérios/crematórios mais vulneráveis à potencial sobrecarga do sistema de saúde são, em ordem decrescente: (1) Cemitério Vila Formosa, (2) Crematório Municipal Dr. Jayme Augusto Lopes, (3) Cemitério São Pedro - Vila Alpina, (4) Cemitério Saudade e (5) Cemitério Vila Nova Cachoeirinha (**Figura 3 e 5, Tabela 3**).
- V. A análise de otimização do fluxo de vítimas com base nas distâncias geográficas entre hospitais e cemitérios/crematórios sugere mudanças logísticas com potencial de evitar uma sobrecarga do sistema funerário. Os cinco hospitais com maior potencial para alterar o fluxo de vítimas e assim evitar uma possível sobrecarga do fluxo funerário são, em ordem decrescente: (1) Hospital das Clínicas, (2) Hospital Sancta Maggiore - Santa Cecília, (3) Hospital Sancta Maggiore - Mooca, (4) Hospital Municipal Tide Setubal e (5) Hospital Salvalus (**Figura 6**).

1.2. Recomendações

Sugere-se à prefeitura da cidade de São Paulo que seja realizado um **planejamento para uma potencial sobrecarga do sistema funerário** (isto é, número de sepultamentos) da cidade de São Paulo com base nos resultados apresentados. Desta forma, nossos resultados reforçam a necessidade de ser adotado planejamento específico para a gestão dos casos extraordinários

visualizados no contexto da pandemia. Esta previsão está baseada na análise estrutural da rede de fluxos de vítimas da COVID-19, que indica a concentração de vários locais com alta vulnerabilidade à sobrecarga do sistema. Tais locais concentram a maior quantidade de óbitos (hospitais) ou a maior concentração de sepultamentos (cemitérios ou crematórios) e tem portanto alto potencial de tornarem-se sobrecarregados por receberem muitos corpos devido ao aumento de vítimas da pandemia. **Recomenda-se especial atenção à localidades da zona leste de São Paulo**, que apresenta os hospitais mais vulneráveis da cidade e abriga cemitérios e crematórios que possuem papel central na rede e/ou encontram-se vulneráveis. Com base em nossa análise de otimização, sugerimos mudanças logísticas no atual fluxo de corpos de hospitais para cemitérios/crematórios de modo a não sobrecarregar o sistema funerário e minimizar os custos de transporte. Neste sentido, nossos resultados são potencialmente úteis ao aperfeiçoamento do planejamento operacional da Prefeitura Municipal de São Paulo, ratificando ou retificando ações em curso no âmbito municipal.

2. Detalhamento das análises e resultados

2.1. Estrutura da rede funerária

Nós integramos dados sobre o fluxo de vítimas suspeitas e confirmadas da COVID-19 entre hospitais e cemitérios/crematórios, ciência de redes complexas, otimização de problemas de transporte em redes e conceitos de modelos epidemiológicos para prever os locais de sepultamento mais vulneráveis à sobrecarga e ao colapso do sistema. A partir dos dados de óbitos da cidade de São Paulo (fornecidos pelo serviço funerário da cidade de São Paulo entre os dias 02/04/2020 e 28/04/2020) criamos uma rede (grafo) na qual cada ponto representa um hospital (representados por círculos na **Figura 1**), cemitério ou crematório (representados por quadrados na **Figura 1**) da cidade de São Paulo. As linhas representam a ligação entre um hospital, no qual uma vítima (suspeita ou confirmada) da COVID-19 veio ao óbito, e o cemitério/crematório para o qual a vítima foi encaminhada. As linhas são ponderadas pela quantidade de vítimas que ligam um hospital a um cemitério/crematório. Nós realizamos uma análise de cartografia de redes complexas, que detecta módulos na rede formada por hospitais e cemitérios/crematórios (Newman 2006, Brandes *et al.* 2008). Ressaltamos que os módulos dessa rede representam hospitais e cemitérios/crematórios entre os quais há um fluxo intenso de vítimas em relação à hospitais e cemitérios fora do módulo (**Figura 1**). Identificamos cinco módulos, sendo que um deles é formado por apenas um hospital e um cemitério: módulo 1, formado pelo hospital Santa Cecília e cemitério da Penha (em vermelho, **Figura 1**).

O algoritmo que atribui hospitais, cemitérios e crematórios a diferentes módulos considera apenas o fluxo de vítimas entre esses locais para a determinação dos módulos, ou seja, o algoritmo não inclui nenhuma informação adicional além do fluxo de vítimas de determinado hospital para determinado cemitério/crematório. É relevante ressaltar que, como esperado para redes com componentes espaciais, a modularidade da rede hospitais-cemitérios/crematórios

apresentou um forte componente espacial. Especificamente, encontramos que hospitais e cemitérios/crematórios mais próximos entre si geograficamente tem maiores chances de pertencerem ao mesmo módulo e que a estrutura modular da rede reflete esse componente espacial (**Figura 1**). Por exemplo, o módulo 2 (azul) é predominantemente composto por hospitais e cemitérios/crematórios localizados na zona leste do município de São Paulo, o módulo 3 (verde) é composto por estabelecimentos predominantemente localizados na zona norte, o módulo 4 (roxo) por estabelecimentos da zona central mas que também pertencem a outras zonas do município de São Paulo (**Figura 1**).

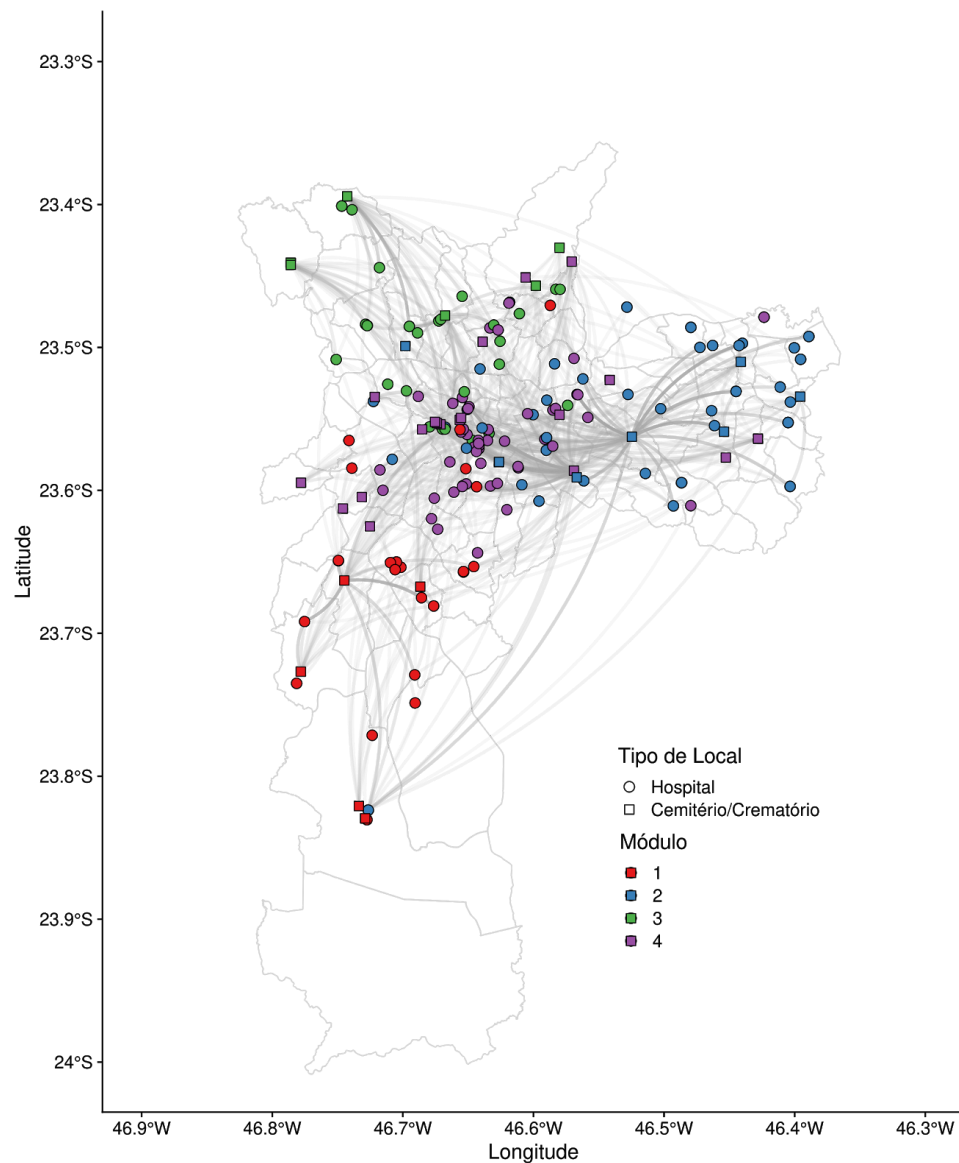


Figura 1. Projeção espacial da rede formada pelo fluxo de vítimas dos hospitais (círculos) para diferentes cemitérios/crematórios (quadrados) da cidade de São Paulo. Locais com as mesmas cores formam módulos, isto é, locais entre os quais há um grande compartilhamento de vítimas. Veja na Tabela 1 em anexo as referências para os nomes dos hospitais e cemitérios/crematórios associados a cada um dos módulos. Dados dos óbitos por suspeitos e confirmados com COVID-19 entre os dias 02/04/2020 e 28/04/2020.

Computamos dois descritores que caracterizam a topologia (estrutura) da rede por meio da conectividade de seus módulos em dois níveis: conectividade entre os módulos (*intermódulo*) e a conectividade dentro dos módulos (*intramódulos*). A conectividade aqui representa o número total de vítimas que faleceram em um determinado hospital e/ou cujo corpo foi enviado para um cemitério/crematório específico. Nessa rede um módulo representa um conjunto de hospitais e cemitérios/crematórios entre os quais há compartilhamento de vítimas maior do que o observado entre localidades fora do módulo. Adicionalmente, nós usamos descritores do papel que os diferentes locais (hospitais, crematórios e cemitérios) desempenham na rede, em termos de conectividade dentro e entre módulos (Amaral *et al.* 2000). De forma heurística, podemos identificar quatro cemitérios em particular que merecem especial atenção (canto superior direito, **Figura 2**). Esse grupo de quatro cemitérios/crematórios recebem vítimas que conectam diferentes hospitais e agem como “*hubs*” locais, ou seja, representam cemitérios e crematórios com papel central na rede, tanto por sua importância dentro dos seus respectivos módulos quanto pelo seu papel em conectar locais entre módulos. São eles: o Crematório Municipal Dr. Jayme Augusto Lopes (187), o Cemitério Vila Formosa (182), o Cemitério Vila Nova Cachoeirinha (184) e o Cemitério São Luís (177) (**Figura 2**). Como consequência de seu papel central na rede, estes cemitérios que se posicionam como “*hubs*” tem o potencial para sofrerem uma sobrecarga de sepultamentos e, portanto, uma redistribuição de vítimas alocadas para esses cemitérios e crematórios deve ser considerada. Na seção “Otimização do fluxo de vítimas (suspeitas e confirmadas) de COVID-19 entre hospitais e Cemitérios” nós propusemos um manejo das vítimas baseado na distribuição espacial de hospitais e cemitérios/crematórios.

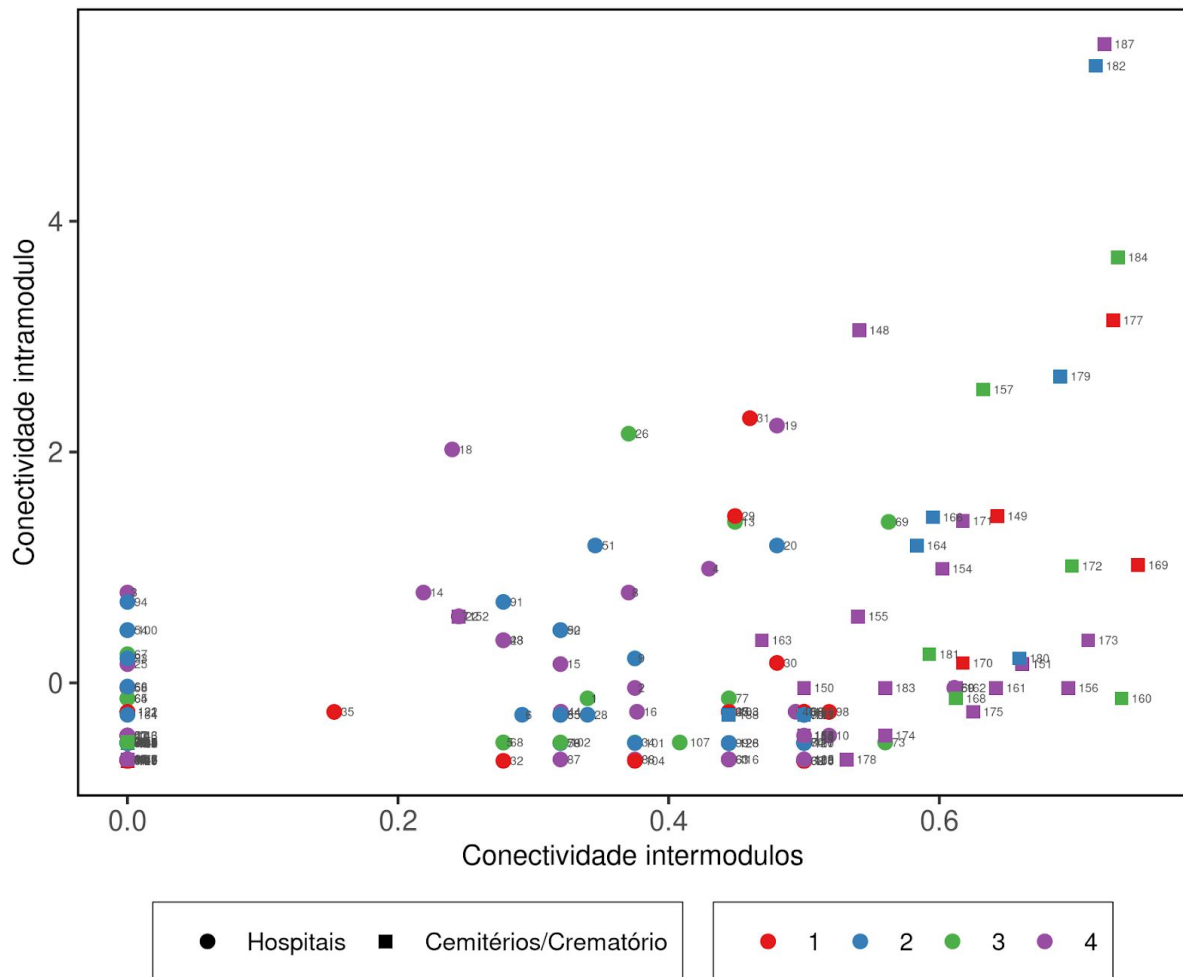


Figura 2. Descritores quantitativos da conectividade entre os módulos (*intermódulo*, eixo x) e dentro dos módulos (*intramódulos*, eixo y). Módulos são grupos de hospitais e cemitério/crematório conectados por um maior fluxo de vítimas. Valores altos de conectividade intramódulo indicam locais com grande fluxo de vítimas com outros locais pertencentes ao mesmo módulo. Valores altos de conectividade intermodular indicam locais com grande fluxo de vítimas entre módulos. “Hubs” regionais e conectores são, portanto, hospitais e cemitérios/crematórios que conectam diferentes hospitais e cemitério/crematório. O Crematório Municipal Dr. Jayme Augusto Lopes (187), o Cemitério Vila Formosa (182), o Cemitério Vila Nova Cachoeirinha (184) e o Cemitério São Luís (177) são importantes hubs por apresentarem valores altos de conectividade dentro e entre módulos e portanto representam locais que recebem um grande número de vítimas. Veja na Tabela 1 em anexo as referências para os nomes dos hospitais e cemitérios/crematórios associados a cada um dos números e módulos.

2.2 Vulnerabilidade de hospitais e cemitérios/crematórios

As análises a seguir descrevem uma abordagem que permite identificar a vulnerabilidade estrutural da rede formada pelo fluxo de vítimas entre hospitais e cemitérios/crematórios. Nós usamos técnicas associadas à descrição de como efeitos se propagam em redes complexas. Especificamente, nós adaptamos uma medida que permite computar rotas diretas e indiretas entre localidades

(centralidade de Katz, [Katz, 1953]). Para calcular essa medida nós computamos a matriz de efeitos diretos e indiretos (Katz, 1953; Guimarães *et al.*, 2017): $T = (I - rQ)^{-1}$, no qual I é a matriz identidade, r é um fator que pesa o efeito do fluxo de vítimas envolvendo múltiplas localidades e Q descreve a matriz de fluxo de vítimas entre hospitais e cemitérios/crematórios. Utilizamos os dados de óbitos da cidade de São Paulo entre os dias 02/04/2020 e 28/04/2020, que continham informações sobre o fluxo de vítimas confirmadas e suspeitas de COVID-19 entre os hospitais e os cemitérios/crematórios da cidade de São Paulo, para calcular a matriz de efeitos diretos e indiretos como descrito acima. Calculamos então a centralidade Katz como uma medida de vulnerabilidade do local, de forma que quanto maior a centralidade, maior o fluxo de vítimas (suspeitas e confirmadas) de COVID-19 partindo de um hospital e sepultadas em um cemitério/crematório. Em seguida, dividimos cada valor pelo valor máximo observado para que a medida ficasse entre zero e um, facilitando sua interpretação. Quanto maior esse valor, maior o fluxo de vítimas que saem de um hospital e são enviados para um cemitério/crematório. Mais especificamente, a vulnerabilidade de um hospital está associada a dois fatores: (1) a quantidade de cemitérios e crematórios para os quais o hospital envia vítimas (links diretos), e (2) o compartilhamento de cemitérios entre os diferentes hospitais (links indiretos). E portanto, quanto maior a vulnerabilidade de um hospital, maior a sua importância em enviar vítimas para cemitérios e maior o seu compartilhamento de localidades de sepultamento com outros hospitais na rede. De maneira análoga, para cemitérios e crematórios, a sua vulnerabilidade está associada a dois fatores: (1) a quantidade de hospitais dos quais o cemitério/crematório recebe vítimas (links diretos), e (2) o compartilhamento de hospitais entre os diferentes cemitérios (links indiretos). Portanto, quanto maior a vulnerabilidade de um cemitério/crematório, maior o número de vítimas que ele recebe e maior seu compartilhamento de hospitais emissores de vítimas com outros locais de sepultamento.

Abaixo apresentamos a projeção espacial da rede hospitais e cemitérios/crematórios no mapa da cidade de São Paulo, destacando as localidades por cores de acordo com a sua vulnerabilidade.

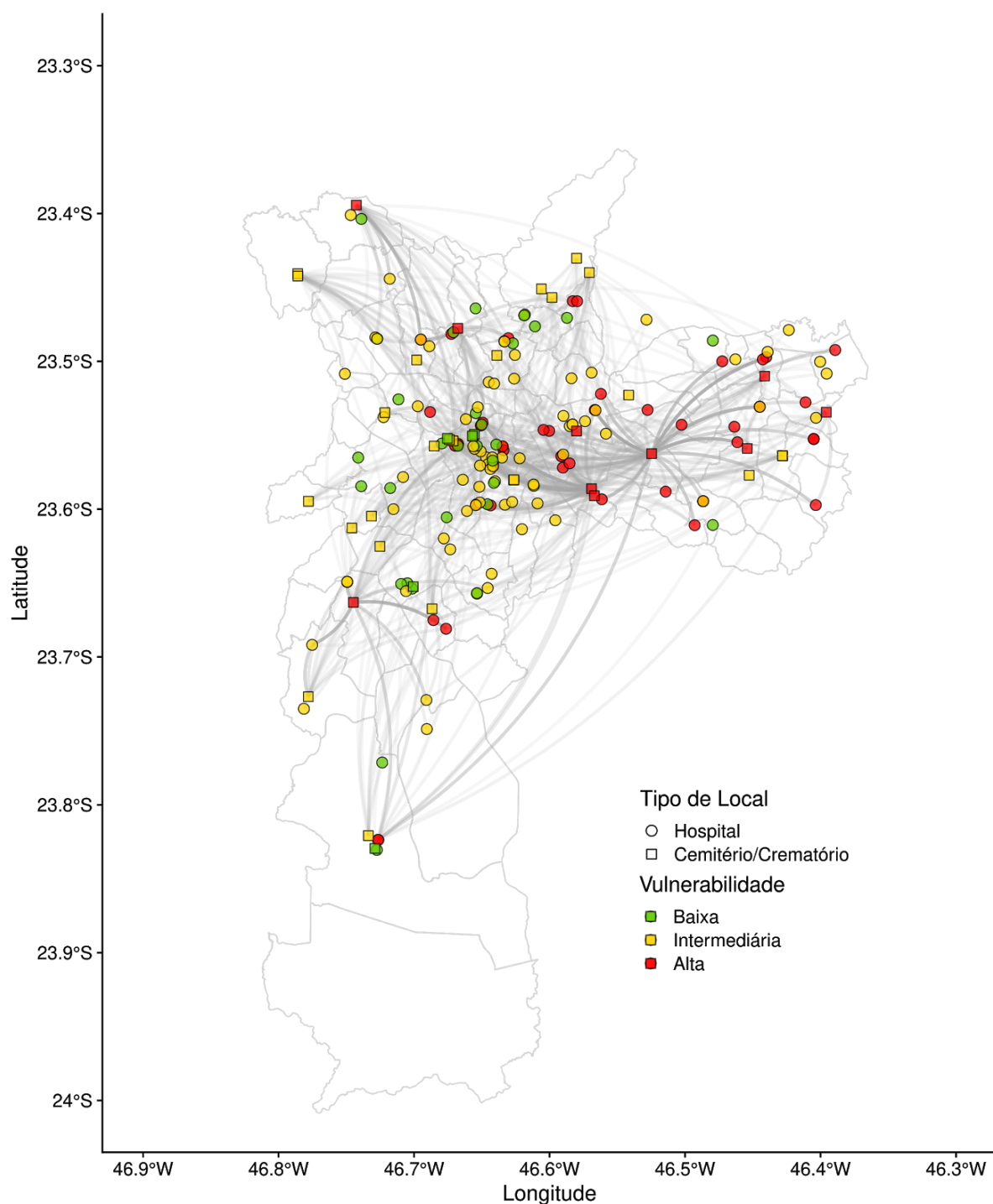


Figura 3. Projeção espacial da rede formada pelo fluxo de vítimas dos hospitais para diferentes cemitérios/crematórios da cidade de São Paulo. As localidades foram classificadas em diferentes graus de vulnerabilidade, de acordo com o fluxo direto e compartilhamento de fluxo entre localidades. Dados de óbitos suspeitos e confirmados de COVID-19 entre os dias 02/04/2020 e 28/04/2020. Veja nas Tabelas 2 e 3 os valores de vulnerabilidade associados a cada um dos hospitais e cemitérios/crematórios.

Classificamos cada um dos nós (hospitais ou cemitérios/crematórios) em três grupos conforme o grau de vulnerabilidade calculado a partir da centralidade de Katz: baixa, intermediária e alta (**Figura 3**). Ressaltamos que esses grupos estão definidos de forma heurística, com base na forma com que efeitos diretos e indiretos se propagam em redes, e tem como objetivo facilitar a tomada de decisões. Em uma rede estruturada com dois tipos de nós, hospitais e cemitérios/crematórios conectados de forma direcional, efeitos diretos são capturados por meio de links diretos (como em qualquer outra rede) e efeitos indiretos são definidos por meio do compartilhamento de caminhos entre as diferentes localidades. Os efeitos indiretos, portanto, são capturados por meio do compartilhamento de localidades entre os diferentes nós da rede. A descrição dos efeitos diretos e indiretos fornecem informações sobre possíveis sobrecargas dentro do sistema, além de potenciais redirecionamentos de fluxo, capturados por meio dos efeitos indiretos. Os cinco hospitais com maior índice de vulnerabilidade são: Hospital Municipal Tide Setubal, Hospital Municipal Doutor Carmino Caricchio, Hospital Santa Marcelina Itaquera, Hospital Estadual Vila Alpina, e Hospital Estadual de Sapopemba (**Figura 4, Tabela 2**). Já os cemitérios/crematórios que estão mais vulneráveis são: Cemitério Vila Formosa, Crematório Municipal Dr. Jayme Augusto Lopes, Cemitério São Pedro - Vila Alpina, Cemitério Saudade, e Cemitério Vila Nova Cachoeirinha (**Figura 5, Tabela 3**). Notavelmente, a maior concentração de hospitais e cemitérios/crematórios com alto nível de vulnerabilidade encontram-se na zona leste da cidade de São Paulo. Sugerimos especial atenção à essa região da cidade, especialmente considerando sua vulnerabilidade em relação a outros fatores sócio-econômicos.

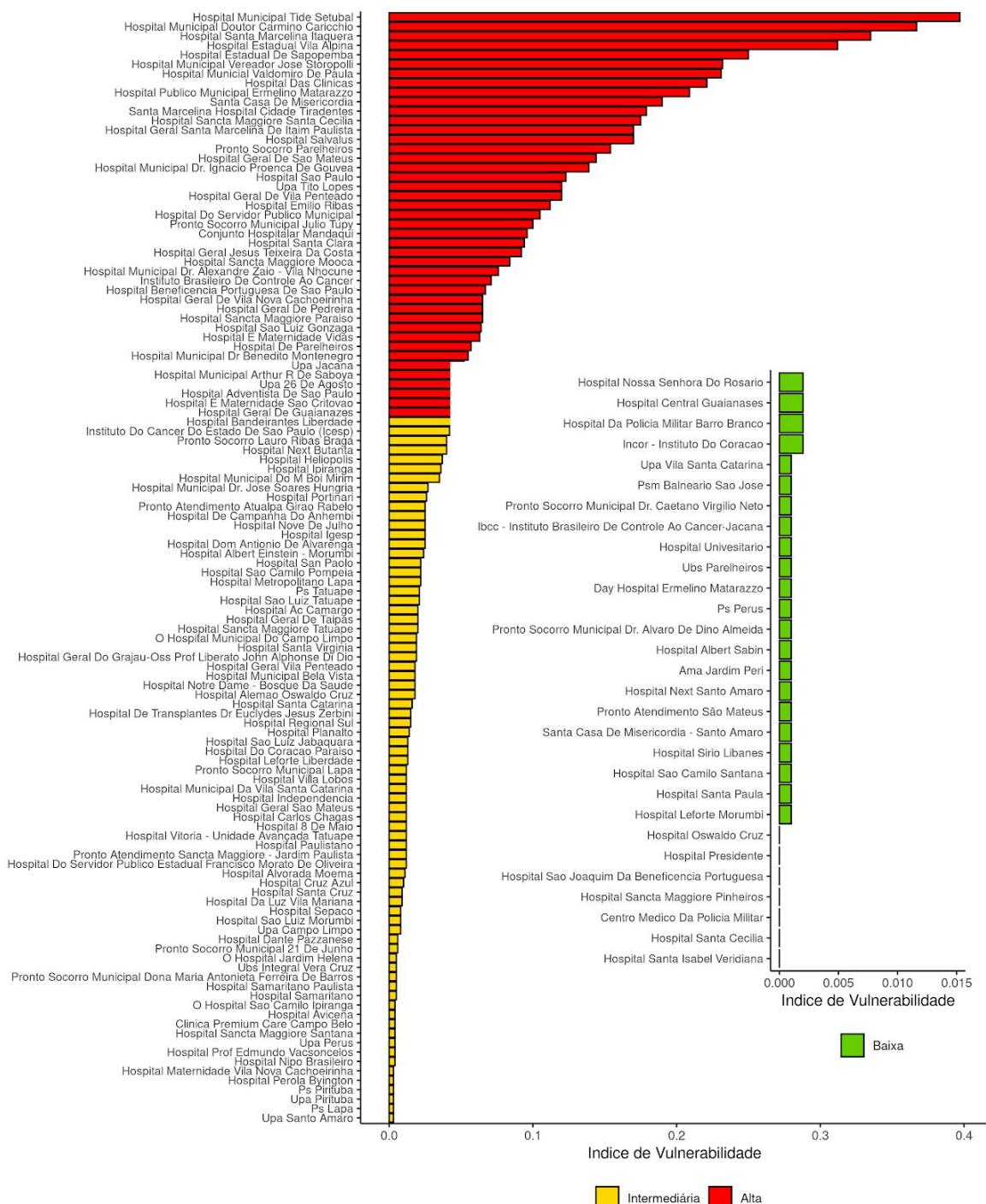


Figura 4. Vulnerabilidade dos hospitais da cidade de São Paulo. As cores indicam a vulnerabilidade do hospital quanto à mortalidade por suspeitos e confirmados com COVID-19 entre os dias 02/04/2020 e 28/04/2015. Quanto maior o índice, maior o potencial daquele hospital em enviar vítimas que vieram a óbito para os cemitérios e crematórios. Veja na Tabela 2 os valores de vulnerabilidade associados a cada um dos hospitais.

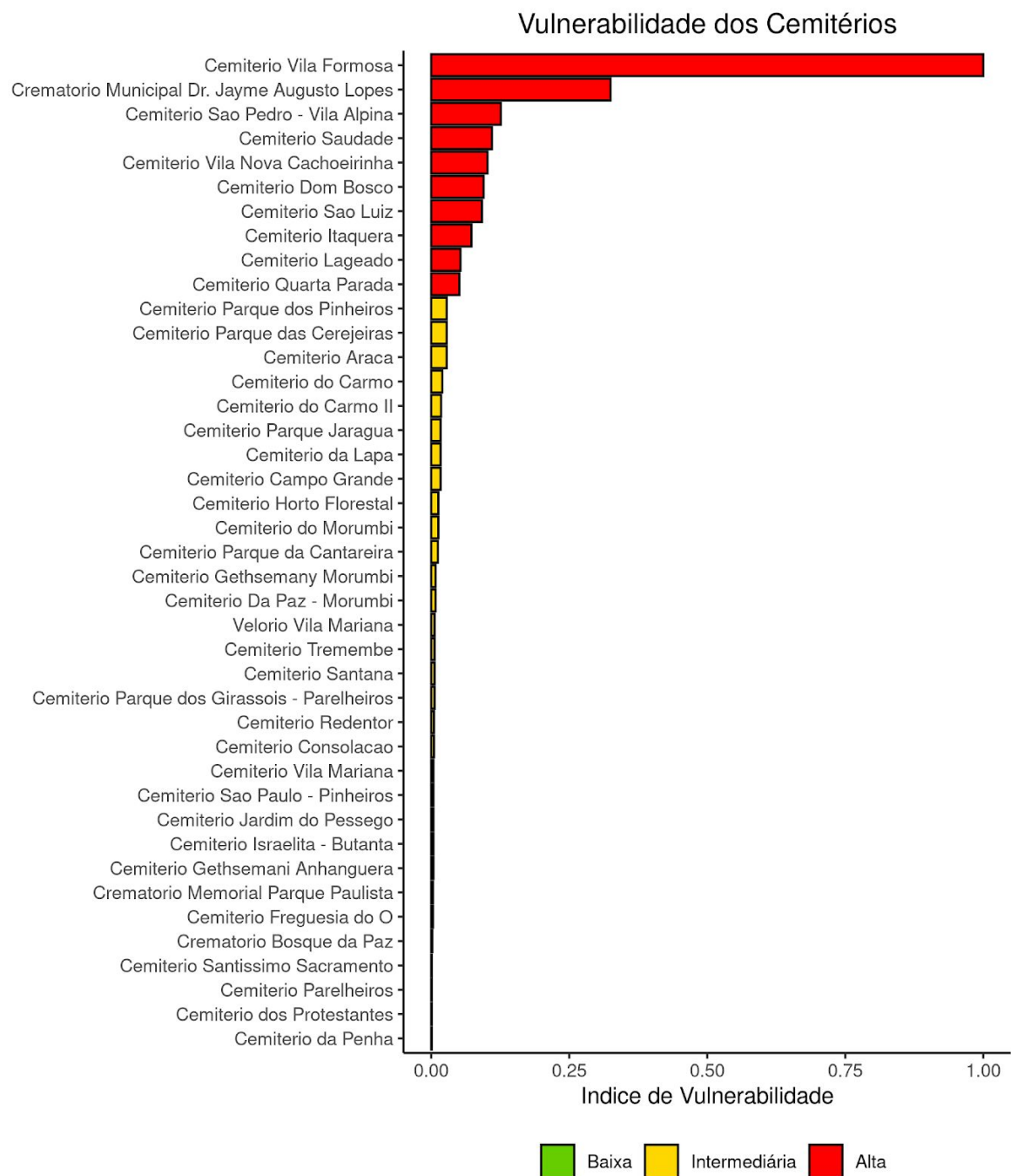


Figura 5. Vulnerabilidade dos cemitérios/crematórios da cidade de São Paulo. As cores indicam a vulnerabilidade do local de sepultamento quanto ao recebimento de vítimas suspeitas e confirmadas com COVID-19 entre os dias 02/04/2020 e 28/04/2020. Quanto maior o índice, maior o potencial daquele local em servir como ponto de recepção de vítimas a partir dos hospitais. Veja na Tabela 3 os valores de vulnerabilidade associados a cada um dos cemitérios/crematórios.

2.3 Otimização do fluxo de vítimas (suspeitas e confirmadas) de COVID-19 entre hospitais e cemitérios/crematórios

Com um aumento exponencial no número de óbitos por COVID-19 na cidade de São Paulo somados aos óbitos por outras causas, a logística do transporte de vítimas suspeitas e confirmadas de COVID-19 que vieram a óbito pode ser desafiadora. Nesse sentido, usamos os dados de óbitos por hospital, vítimas recebidas por cemitérios/crematórios e distâncias geográficas entre hospitais e cemitérios/crematórios para propor alterações logísticas que visam otimizar o fluxo de vítimas (suspeitas e confirmadas) de COVID-19 na cidade de São Paulo. Para isso, descrevemos o problema de sepultamentos como um problema de transporte em redes, buscando minimizar o custo de fluxo nesta rede (Bertsimas & Tsitsiklis, 1997). O problema de transporte neste caso consiste em minimizar o custo de transportar vítimas de hospitais para cemitérios/crematórios. Neste caso, definimos o custo baseado na distância geográfica entre hospitais e cemitérios/crematórios e procuramos então minimizar este custo, para que as distâncias percorridas sejam mínimas e os sepultamentos não sobrecarreguem alguns cemitérios/crematórios. Podemos formalizar o problema da seguinte forma:

a_i : número total de vítimas (óbitos) do hospital i ("oferta") ($i = 1, \dots, m$)

b_j : número total de vítimas recebidas pelo cemitério/crematório j ("demanda") ($j = 1, \dots, n$)

c_{ij} : distância geográfica (linha reta em metros) entre hospital i e cemitério/crematório j ("custo de transporte")

Uma premissa importante de nossa análise é que o número atual de corpos recebidos por cada cemitério/crematório j (b_j) é um indicador da capacidade total de sepultamento deste cemitério/crematório. O problema então consiste em encontrar as quantidades de vítimas x_{ij} a serem transportadas do hospital i para o cemitério/crematório j de modo a minimizar a soma de fluxo multiplicado por custo para cada conexão entre hospitais e cemitérios/crematórios, respeitando o número de óbitos que acontecem nos hospitais e que precisam ser sepultados ou cremados:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad (i = 1, \dots, m)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad (j = 1, \dots, n)$$

Utilizamos o algoritmo simplex para encontrar a solução ótima para o problema de transporte (Bertsimas & Tsitsiklis, 1997). Após encontrar a solução ótima (*i.e.*, valores de x_{ij} que minimizam o custo total de transporte entre hospitais e cemitérios/crematórios considerando suas distâncias geográficas), computamos a

diferença entre a rede atual de fluxo de vítimas (matriz **Q**, **Figura 1**) e a rede ótima encontrada pelo algoritmo simplex (matriz **X**). Especificamente, calculamos a mudança no fluxo entre **X** e **Q** para cada par de hospital i e cemitério/crematório j : $x_{ij} - q_{ij}$, onde q_{ij} corresponde ao fluxo observado de vítimas suspeitas e confirmadas (elemento da matriz **Q** descrita anteriormente) de COVID-19.

Nossa otimização do transporte de vítimas de hospitais para cemitérios/crematórios resultou em uma diminuição de 38% no custo médio, medido em metros percorridos por vítima transportada. Sendo $T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n q_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1.624$ o número total de óbitos observados, o custo médio atual (*i.e.*, usando a

matriz **Q**) é de $\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} q_{ij}}{T} = 9.868$ metros por vítima, enquanto que o custo médio

otimizado (*i.e.*, usando a matriz **X**) é de $\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}}{T} = 6.150$ metros por vítima. Nossos

resultados indicam que aproximadamente 88% do fluxo entre hospitais e cemitérios/crematórios está dentro do previsto pelo fluxo ótimo (**Figura 6**, elementos em branco). No entanto, aproximadamente 12% do fluxo de corpos necessitaria de mudanças para minimizar as distâncias percorridas e não sobrecarregar cemitérios e crematórios. Na **Figura 6**, células azuis indicam uma sugestão de aumento de fluxo (*i.e.*, $x_{ij} - q_{ij} > 0$), enquanto células vermelhas indicam uma sugestão de diminuição de fluxo (*i.e.*, $x_{ij} - q_{ij} < 0$). Com base na **Figura 6**, podemos detectar os hospitais que mais necessitam de mudanças logísticas de modo a diminuir as distâncias percorridas (*i.e.*, custos de transporte): (1) Hospital das Clínicas, (2) Hospital Sancta Maggiore - Santa Cecília, (3) Hospital Sancta Maggiore - Mooca (4) Hospital Municipal Tide Setubal e (5) Hospital Salvalus. Por exemplo, os óbitos provenientes do Hospital da Clínicas entre 02/04/2020 e 28/04/2020 (63 óbitos) poderiam ser redistribuídos entre os cemitérios/crematórios de modo a aumentar o fluxo para o Cemitério do Araçá (+25 vítimas), Cemitério São Paulo - Pinheiros (+10 vítimas), Cemitério da Lapa (+8 vítimas), Cemitério Redentor (+6 vítimas), Cemitério Israelita - Butantã (+2 vítimas), Cemitério Gethsêmani Morumbi (+2 vítimas) e Cemitério Santíssimo Sacramento (+1 vítima). Além disso, nossa análise sugere uma diminuição no fluxo do Hospital da Clínicas para o Crematório Municipal Dr. Jayme Augusto Lopes (-18 vítimas), Cemitério Dom Bosco (-10 vítimas), Cemitério Vila Formosa (-10 vítimas), Cemitério São Luiz (-7 vítimas), Cemitério Vila Nova Cachoeirinha (-6 vítimas), Cemitério Parque das Cerejeiras (-3 vítimas), Cemitério São Pedro - Vila Alpina (-3 vítimas) e Cemitério Campo Grande (-1 vítima). É importante ressaltar que a sugestão em relação à diminuição do fluxo para as localidades acima listadas encontra-se alinhada com os resultados que encontramos para as localidades mais vulneráveis do sistema (**Crematório Municipal Dr. Jayme Augusto Lopes, Cemitério Vila Formosa, Cemitério Vila Nova Cachoeirinha, Cemitério São Pedro - Vila Alpina, Tabela 3**). Dessa forma, uma diminuição de fluxo para os cemitérios listados resultaria em uma alteração na estrutura da rede que conecta hospitais e cemitérios/crematórios, contribuindo para a redução da vulnerabilidade desses locais.

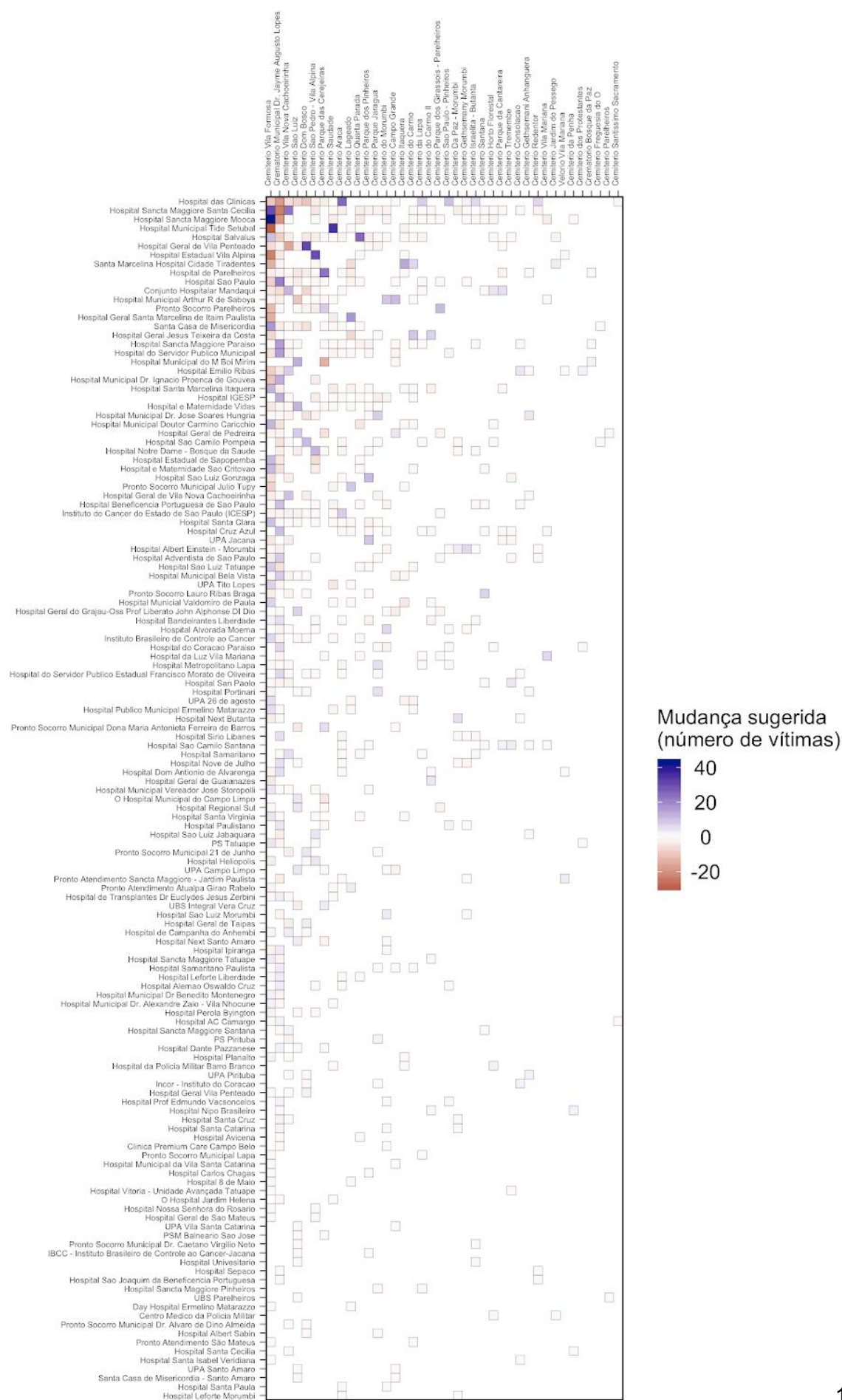


Figura 6. Mudanças sugeridas ($x_{ij} - q_{ij}$) com base na análise de otimização para o fluxo de vítimas de COVID-19 entre hospitais (linhas) e cemitérios/crematórios (colunas) da cidade de São Paulo. Células em azul indicam uma sugestão de aumento no fluxo ($x_{ij} - q_{ij} > 0$) e células em vermelho indicam uma sugestão de diminuição no fluxo ($x_{ij} - q_{ij} < 0$). Células em branco indicam que o fluxo não precisa ser alterado ($x_{ij} - q_{ij} = 0$). Hospitais estão ordenados pela quantidade de mudança total no fluxo.

3. Limitações das análises

Toda e qualquer análise representa uma abstração da realidade com objetivo de aumentar nosso entendimento em relação ao um determinado problema. Consequentemente, essa abstração resulta em limitações de acordo com a abordagem adotada para compreender o problema. Destacamos abaixo algumas limitações associadas às nossas abordagens. Adicionalmente, ressaltamos a importância de dados que no momento não estão disponíveis para que possamos refinar nossas inferências e, assim, informar de forma mais eficiente a tomada de decisões. É importante ressaltar que nosso foco neste relatório é de manejo de vítimas, isto é, fornecer uma descrição do fluxo de vítimas entre hospitais e cemitérios e crematórios e propor mudanças na distribuição dos sepultamentos com base na distância geográfica entre hospitais e cemitérios/crematórios. Neste trabalho, nós **não** focamos na otimização da capacidade de leitos disponíveis nos hospitais nem tampouco na possível limitação de espaço em cemitérios e crematórios.

Dados relativos à quantidade de corpos que os cemitérios e crematórios são capazes de manejar por dia: os dados sobre óbitos disponíveis não consideram o tamanho do espaço físico disponível, nem a capacidade suporte dos cemitérios e crematórios, isto é, quantos corpos podem ser enterrados ou cremados por dia. Sendo assim, nossos resultados são dependentes da amostragem atual, com base no fluxo de vítimas observado e não consideram uma possível saturação do sistema funerário.

Qualquer estimativa de capacidade de suporte dos cemitérios e crematórios nos ajudaria a refinar as nossas análises.

Otimização do fluxo de vítimas de COVID-19 entre hospitais e cemitérios/crematórios: gostaríamos de ressaltar que nossa análise de otimização se baseia nos dados atuais de óbitos por hospitais, direcionamento de vítimas à cemitérios/crematórios e nas distâncias geográficas entre eles. Uma premissa de nossa análise é que quanto maior a distância entre um hospital e um cemitério/crematório, maior será o custo de transporte em termos de recursos e tempo. Nossa expectativa é que estes custos passem a ser mais relevantes à medida que o fluxo de vítimas pela cidade de São Paulo aumente. Utilizamos uma linha reta (em metros) calculada com base nas coordenadas geográficas de cada hospital e cemitério/crematório como uma aproximação para a distância entre eles. Em análises futuras, esperamos utilizar distâncias mais precisas que considerem rotas viárias de transporte. Uma outra premissa importante de nossa análise é que o número atual de vítimas recebido por cada cemitério/crematório reflete a

capacidade de suporte do cemitério/crematório. Idealmente, dados sobre a real capacidade de suporte de cada cemitério/crematório seriam mais adequados para o problema de otimização e esperamos incrementar nossas análises com estes dados o mais breve possível.

Quantidade de óbitos por hospital/região da cidade de São Paulo: nossa análise de fluxo pressupõe que a distribuição do número de óbitos entre hospitais se mantém constante ao longo do tempo. Entretanto, como a análise de vulnerabilidade indica, os diferentes hospitais da cidade de São Paulo apresentam graus de vulnerabilidade distintos, o que ao longo do tempo pode alterar a distribuição de óbitos entre os hospitais. Somado a isso, a progressão da COVID-19 nas diferentes regiões da cidade de São Paulo tem ocorrido de forma não-uniforme, ou seja, a vulnerabilidade das regiões e distribuição de casos entre elas muda constantemente. **Estimativas sobre ocupação de leitos por hospitais ou ainda dados preditivos sobre a expectativa de óbitos** em curto espaço de tempo podem ser incorporados em nossas análises, refinando nossas previsões e aumentando nossa compreensão sobre o fluxo observado na rede entre hospitais e cemitérios/crematórios e propondo soluções de otimização do fluxo.

4. Agradecimentos

Nossos especiais agradecimentos ao Coronel Eduardo Migon (Exército Brasileiro), Marcelo Gomes (Fiocruz) e a Roberto Kraenkel (IFT-UNESP). À FAPESP, CAPES e CNPq por financiarem nossos grupos de pesquisa.

5. Referências

- Amaral, L. A. N., Scala, A., Barthélemy, M., & Stanley, H. E. (2000). Classes of small-world networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, 97(21), 11149-11152.
- Bertsimas, D., & Tsitsiklis, J. N. (1997). *Introduction to linear optimization* (Vol. 6, pp. 479-530). Belmont, MA: Athena Scientific.
- Brandes, U.; Delling, D.; Gaertler, M.; Gorke, R.; Hoefer, M.; Nikoloski, Z.; Wagner, D. (2008). On Modularity Clustering. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 20 (2): 172–188.
- Guimarães *et al.* (2017). Indirect effects drive coevolution in mutualistic networks. *Nature*, 550: 511-514.
- Katz, L. (1953). A new status index derived from sociometric analysis. *Psychometrika*, 18(1), 39-43.
- Newman, M. E. J. (2006). Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 103 (23): 8577–8696.

6. Tabelas

Tabela 2. Tabela de hospitais e cemitérios apresentados nas Figuras 1 e 2 com seus respectivos módulos

| Nome | Número | Módulo |
|--------------------------------------------------------------------|--------|--------|
| Conjunto Hospitalar Mandaqui | 1 | 3 |
| Hospital Alemão Oswaldo Cruz | 2 | 4 |
| Hospital Bandeirantes Liberdade | 3 | 4 |
| Hospital Cruz Azul | 4 | 4 |
| Hospital das Clínicas | 5 | 3 |
| Hospital de Parelheiros | 6 | 2 |
| Hospital do Servidor Público Estadual Francisco Morato de Oliveira | 7 | 4 |
| Hospital do Servidor Público Municipal | 8 | 4 |
| Hospital Dom Antonio de Alvarenga | 9 | 2 |
| Hospital IGESP | 10 | 4 |
| Hospital Leforte Liberdade | 11 | 4 |
| Hospital Leforte Morumbi | 12 | 4 |
| Hospital Metropolitano Lapa | 13 | 3 |
| Hospital Notre Dame - Bosque da Saúde | 14 | 4 |
| Hospital Nove de Julho | 15 | 4 |
| Hospital Salvalus | 16 | 4 |
| Hospital Samaritano | 17 | 4 |
| Hospital Sancta Maggiore Paraíso | 18 | 4 |
| Hospital Sancta Maggiore Santa Cecília | 19 | 4 |
| Hospital Santa Clara | 20 | 2 |
| Hospital Santa Paula | 21 | 4 |
| Hospital São Camilo Pompéia | 22 | 4 |
| Hospital São Camilo Santana | 23 | 4 |
| Hospital São Luiz Gonzaga | 24 | 3 |
| Hospital Sírio Libanês | 25 | 4 |
| Instituto do Câncer do Estado de São Paulo (ICESP) | 26 | 3 |
| Pronto Atendimento Sancta Maggiore - Jardim Paulista | 27 | 4 |

| | | |
|------------------------------------------------------------------|----|---|
| Santa Casa de Misericórdia | 28 | 2 |
| Hospital Geral de Pedreira | 29 | 1 |
| Hospital Geral do Grajaú-Oss Prof Liberato John Alphonse DI Dio | 30 | 1 |
| Hospital Municipal Arthur R de Saboya | 31 | 1 |
| Hospital Municipal Bela Vista | 32 | 1 |
| Hospital Municipal do M'Boi Mirim | 33 | 1 |
| Hospital Samaritano Paulista | 34 | 3 |
| Hospital São Paulo | 35 | 1 |
| Pronto Socorro Municipal Dona Maria Antonieta Ferreira de Barros | 36 | 1 |
| Santa Casa de Misericórdia - Santo Amaro | 37 | 1 |
| UPA Campo Limpo | 38 | 1 |
| UPA Santo Amaro | 39 | 1 |
| Hospital Beneficencia Portuguesa de São Paulo | 40 | 4 |
| Hospital Next Butanta | 41 | 2 |
| Hospital Santa Isabel Veridiana | 42 | 4 |
| Hospital da Luz Vila Mariana | 43 | 4 |
| Hospital Sancta Maggiore Mooca | 44 | 4 |
| Hospital Santa Catarina | 45 | 4 |
| Hospital Santa Cruz | 46 | 4 |
| Hospital Santa Cecília | 47 | 4 |
| Hospital e Maternidade São Cristóvão | 48 | 4 |
| Hospital Municipal Doutor Carmino Caricchio | 49 | 2 |
| Hospital Público Municipal Ermelino Matarazzo | 50 | 2 |
| Hospital Santa Marcelina Itaquera | 51 | 2 |
| Hospital São Luiz Tatuape | 52 | 4 |
| Pronto Atendimento São Mateus | 53 | 4 |
| UPA 26 de agosto | 54 | 2 |
| Hospital Geral Jesus Teixeira da Costa | 55 | 2 |
| Hospital Municipal Waldomiro de Paula | 56 | 2 |
| Hospital Nipo Brasileiro | 57 | 4 |
| Hospital Sancta Maggiore Tatuapé | 58 | 4 |
| Hospital Albert Einstein - Morumbi | 59 | 4 |

| | | |
|-----------------------------------------------------|----|---|
| Hospital do Coração Paraíso | 60 | 4 |
| Hospital Ipiranga | 61 | 4 |
| Hospital Next Santo Amaro | 62 | 1 |
| Hospital Prof Edmundo Vasconcelos | 63 | 4 |
| Ama Jardim Peri | 64 | 3 |
| Hospital Albert Sabin | 65 | 3 |
| Hospital de Campanha do Anhembi | 66 | 2 |
| Hospital Geral de Taipas | 67 | 3 |
| Hospital Geral de Vila Nova Cachoeirinha | 68 | 3 |
| Hospital Geral de Vila Penteado | 69 | 3 |
| Hospital Geral Vila Penteado | 70 | 3 |
| Hospital Heliópolis | 71 | 2 |
| Hospital Municipal Dr. Jose Soares Hungria | 72 | 3 |
| Hospital Portinari | 73 | 3 |
| Incor - Instituto do Coração | 74 | 3 |
| Instituto Brasileiro de Controle ao Câncer | 75 | 2 |
| Pronto Socorro Lauro Ribas Braga | 76 | 3 |
| Pronto Socorro Municipal 21 de Junho | 77 | 3 |
| Pronto Socorro Municipal Dr. Álvaro de Dino Almeida | 78 | 3 |
| Pronto Socorro Parelheiros | 79 | 2 |
| PS Lapa | 80 | 3 |
| PS Perus | 81 | 3 |
| UPA Perus | 82 | 3 |
| UPA Pirituba | 83 | 3 |
| PS Tatuapé | 84 | 4 |
| Hospital Emílio Ribas | 85 | 2 |
| Hospital Sao Luiz Jabaquara | 86 | 4 |
| Hospital Alvorada Moema | 87 | 4 |
| Hospital Paulistano | 88 | 4 |
| Hospital São Luiz Morumbi | 89 | 4 |
| Hospital da Policia Militar Barro Branco | 90 | 2 |
| Hospital Estadual Vila Alpina | 91 | 2 |

| | | |
|----------------------------------------------------------|-----|---|
| Hospital Municipal Tide Setubal | 92 | 2 |
| Hospital Planalto | 93 | 2 |
| Hospital Santa Virginia | 94 | 2 |
| Centro Medico da Policia Militar | 95 | 4 |
| Day Hospital Ermelino Matarazzo | 96 | 2 |
| Hospital Central Guaianases | 97 | 2 |
| Hospital e Maternidade Vidas | 98 | 1 |
| Pronto Socorro Municipal Julio Tupy | 99 | 2 |
| Santa Marcelina Hospital Cidade Tiradentes | 100 | 2 |
| UPA Tito Lopes | 101 | 2 |
| UPA Jaçanã | 102 | 3 |
| Hospital Dante Pazzanese | 103 | 1 |
| Hospital Regional Sul | 104 | 1 |
| O Hospital Municipal do Campo Limpo | 105 | 1 |
| UBS Integral Vera Cruz | 106 | 1 |
| Hospital Adventista de São Paulo | 107 | 3 |
| UBS Parelheiros | 108 | 1 |
| Hospital Municipal Vereador José Storopoli | 109 | 2 |
| Hospital Sancta Maggiore Pinheiros | 110 | 3 |
| PS Pirituba | 111 | 3 |
| Hospital Estadual de Sapopemba | 112 | 2 |
| Hospital Sao Joaquim da Beneficência Portuguesa | 113 | 4 |
| Hospital Sepaco | 114 | 4 |
| Hospital Sancta Maggiore Santana | 115 | 4 |
| Hospital AC Camargo | 116 | 4 |
| Hospital Pérola Byington | 117 | 2 |
| Hospital Universitário | 118 | 1 |
| IBCC - Instituto Brasileiro de Controle ao Câncer-Jaçanã | 119 | 1 |
| Pronto Socorro Municipal Dr. Caetano Virgilio Neto | 120 | 1 |
| PSM Balneário São José | 121 | 1 |
| UPA Vila Santa Catarina | 122 | 1 |
| Hospital Geral de São Mateus | 123 | 2 |

| | | |
|------------------------------------------------------|-----|---|
| Hospital Municipal Dr. Ignacio Proenca de Gouvea | 124 | 2 |
| Hospital Nossa Senhora do Rosário | 125 | 2 |
| Hospital de Transplantes Dr Euclydes Jesus Zerbini | 126 | 2 |
| Hospital Geral Santa Marcelina de Itaim Paulista | 127 | 2 |
| Hospital Municipal Dr. Alexandre Zaio - Vila Nhocuné | 128 | 2 |
| O Hospital Jardim Helena | 129 | 4 |
| Pronto Atendimento Atualpa Girao Rabelo | 130 | 2 |
| Hospital Presidente | 131 | 3 |
| Hospital San Paolo | 132 | 3 |
| Hospital Vitória - Unidade Avançada Tatuapé | 133 | 3 |
| Hospital 8 de Maio | 134 | 2 |
| Hospital Carlos Chagas | 135 | 2 |
| Hospital Geral de Guaianazes | 136 | 2 |
| Hospital Geral São Mateus | 137 | 2 |
| Hospital Independência | 138 | 2 |
| Hospital Municipal da Vila Santa Catarina | 139 | 2 |
| Hospital Municipal Dr Benedito Montenegro | 140 | 2 |
| Hospital Villa Lobos | 141 | 2 |
| Pronto Socorro Municipal Lapa | 142 | 2 |
| Hospital Oswaldo Cruz | 143 | 4 |
| Hospital Maternidade Vila Nova Cachoeirinha | 144 | 3 |
| Clinica Premium Care Campo Belo | 145 | 4 |
| Hospital Aviccena | 146 | 4 |
| O Hospital São Camilo Ipiranga | 147 | 4 |
| Cemitério Araçá | 148 | 4 |
| Cemitério Campo Grande | 149 | 1 |
| Cemitério Consolação | 150 | 4 |
| Cemitério da Lapa | 151 | 4 |
| Cemitério Da Paz - Morumbi | 152 | 4 |
| Cemitério da Penha | 153 | 4 |
| Cemitério do Carmo | 154 | 4 |
| Cemitério do Carmo II | 155 | 4 |

| | | |
|----------------------------------------------|-----|---|
| Cemitério do Morumbi | 156 | 4 |
| Cemitério Dom Bosco | 157 | 3 |
| Cemitério dos Protestantes | 158 | 4 |
| Cemitério Freguesia do Ó | 159 | 2 |
| Cemitério Gethsêmani Anhanguera | 160 | 3 |
| Cemitério Gethsêmani Morumbi | 161 | 4 |
| Cemitério Horto Florestal | 162 | 4 |
| Cemitério Israelita - Butantã | 163 | 4 |
| Cemitério Itaquera | 164 | 2 |
| Cemitério Jardim do Pêssego | 165 | 4 |
| Cemitério Lageado | 166 | 2 |
| Cemitério Parelheiros | 167 | 1 |
| Cemitério Parque da Cantareira | 168 | 3 |
| Cemitério Parque das Cerejeiras | 169 | 1 |
| Cemitério Parque dos Girassóis - Parelheiros | 170 | 1 |
| Cemitério Parque dos Pinheiros | 171 | 4 |
| Cemitério Parque Jaraguá | 172 | 3 |
| Cemitério Quarta Parada | 173 | 4 |
| Cemitério Redentor | 174 | 4 |
| Cemitério Santana | 175 | 4 |
| Cemitério Santíssimo Sacramento | 176 | 4 |
| Cemitério São Luiz | 177 | 1 |
| Cemitério São Paulo - Pinheiros | 178 | 4 |
| Cemitério São Pedro - Vila Alpina | 179 | 2 |
| Cemitério Saudade | 180 | 2 |
| Cemitério Tremembé | 181 | 3 |
| Cemitério Vila Formosa | 182 | 2 |
| Cemitério Vila Mariana | 183 | 4 |
| Cemitério Vila Nova Cachoeirinha | 184 | 3 |
| Crematório Bosque da Paz | 185 | 2 |
| Crematório Memorial Parque Paulista | 186 | 3 |
| Crematório Municipal Dr. Jayme Augusto Lopes | 187 | 4 |

| | | |
|----------------------|-----|---|
| Velório Vila Mariana | 188 | 2 |
|----------------------|-----|---|

Tabela 2. Índice de vulnerabilidade (Vul) dos hospitais da cidade de São Paulo quanto à mortalidade por suspeitos e confirmados com COVID-19 entre os dias 02/04/2020 e 28/04/2015. Quanto maior o índice, maior também o potencial daquele local em servir como ponto de origem de vítimas.

| Locais | Vulnerabilidade | Classe |
|--------------------------------------------------|------------------------|---------------|
| Hospital Municipal Tide Setubal | 0.397 | Alta |
| Hospital Municipal Doutor Carmino Caricchio | 0.367 | Alta |
| Hospital Santa Marcelina Itaquera | 0.335 | Alta |
| Hospital Estadual Vila Alpina | 0.312 | Alta |
| Hospital Estadual De Sapopemba | 0.25 | Alta |
| Hospital Municipal Vereador José Storopoli | 0.232 | Alta |
| Hospital Municipal Waldomiro De Paula | 0.231 | Alta |
| Hospital Das Clínicas | 0.221 | Alta |
| Hospital Público Municipal Ermelino Matarazzo | 0.209 | Alta |
| Santa Casa De Misericórdia | 0.19 | Alta |
| Santa Marcelina Hospital Cidade Tiradentes | 0.179 | Alta |
| Hospital Sancta Maggiore Santa Cecília | 0.175 | Alta |
| Hospital Salvalus | 0.17 | Alta |
| Hospital Geral Santa Marcelina De Itaim Paulista | 0.17 | Alta |
| Pronto Socorro Parelheiros | 0.154 | Alta |
| Hospital Geral De São Mateus | 0.144 | Alta |
| Hospital Municipal Dr. Ignacio Proenca De Gouvea | 0.139 | Alta |
| Hospital São Paulo | 0.123 | Alta |
| Hospital Geral De Vila Penteadó | 0.12 | Alta |
| Upa Tito Lopes | 0.12 | Alta |
| Hospital Emílio Ribas | 0.112 | Alta |
| Hospital Do Servidor Público Municipal | 0.105 | Alta |
| Pronto Socorro Municipal Julio Tupy | 0.1 | Alta |
| Conjunto Hospitalar Mandaqui | 0.096 | Alta |
| Hospital Santa Clara | 0.094 | Alta |
| Hospital Geral Jesus Teixeira Da Costa | 0.092 | Alta |

| | | |
|------------------------------------------------------|-------|---------------|
| Hospital Sancta Maggiore Mooca | 0.084 | Alta |
| Hospital Municipal Dr. Alexandre Zaio - Vila Nhocuné | 0.076 | Alta |
| Instituto Brasileiro De Controle Ao Câncer | 0.071 | Alta |
| Hospital Beneficencia Portuguesa De São Paulo | 0.067 | Alta |
| Hospital Sancta Maggiore Paraíso | 0.065 | Alta |
| Hospital Geral De Pedreira | 0.065 | Alta |
| Hospital Geral De Vila Nova Cachoeirinha | 0.065 | Alta |
| Hospital São Luiz Gonzaga | 0.064 | Alta |
| Hospital e Maternidade Vidas | 0.063 | Alta |
| Hospital De Parelheiros | 0.057 | Alta |
| Hospital Municipal Dr Benedito Montenegro | 0.055 | Alta |
| Upa Jaçanã | 0.052 | Alta |
| Hospital Municipal Arthur R De Saboya | 0.051 | Alta |
| Upa 26 De Agosto | 0.05 | Alta |
| Hospital E Maternidade São Cristóvão | 0.049 | Alta |
| Hospital Adventista De São Paulo | 0.049 | Alta |
| Hospital Geral De Guaianazes | 0.048 | Alta |
| Hospital Bandeirantes Liberdade | 0.046 | Intermediária |
| Instituto Do Câncer Do Estado De São Paulo (Icesp) | 0.042 | Intermediária |
| Hospital Next Butanta | 0.04 | Intermediária |
| Pronto Socorro Lauro Ribas Braga | 0.04 | Intermediária |
| Hospital Heliópolis | 0.037 | Intermediária |
| Hospital Ipiranga | 0.036 | Intermediária |
| Hospital Municipal Do M'Boi Mirim | 0.035 | Intermediária |
| Hospital Municipal Dr. Jose Soares Hungria | 0.027 | Intermediária |
| Hospital Portinari | 0.026 | Intermediária |
| Hospital Dom Antonio De Alvarenga | 0.025 | Intermediária |
| Hospital Igesp | 0.025 | Intermediária |
| Hospital Nove De Julho | 0.025 | Intermediária |
| Hospital De Campanha Do Anhembi | 0.025 | Intermediária |
| Pronto Atendimento Atualpa Girao Rabelo | 0.025 | Intermediária |
| Hospital Albert Einstein - Morumbi | 0.024 | Intermediária |

| | | |
|--------------------------------------------------------------------|-------|---------------|
| Hospital Metropolitano Lapa | 0.022 | Intermediária |
| Hospital Sao Camilo Pompeia | 0.022 | Intermediária |
| Hospital San Paolo | 0.022 | Intermediária |
| Hospital São Luiz Tatuape | 0.021 | Intermediária |
| Ps Tatuapé | 0.021 | Intermediária |
| Hospital Sancta Maggiore Tatuapé | 0.02 | Intermediária |
| Hospital Geral De Taipas | 0.02 | Intermediária |
| Hospital Ac Camargo | 0.02 | Intermediária |
| Hospital Geral Do Grajaú-Oss Prof Liberato John Alphonse Di Dio | 0.019 | Intermediária |
| Hospital Santa Virginia | 0.019 | Intermediária |
| O Hospital Municipal Do Campo Limpo | 0.019 | Intermediária |
| Hospital Alemão Oswaldo Cruz | 0.018 | Intermediária |
| Hospital Notre Dame - Bosque Da Saúde | 0.018 | Intermediária |
| Hospital Municipal Bela Vista | 0.018 | Intermediária |
| Hospital Geral Vila Penteado | 0.018 | Intermediária |
| Hospital Santa Catarina | 0.016 | Intermediária |
| Hospital Regional Sul | 0.015 | Intermediária |
| Hospital De Transplantes Dr Euclides Jesus Zerbini | 0.015 | Intermediária |
| Hospital Planalto | 0.014 | Intermediária |
| Hospital Leforte Liberdade | 0.013 | Intermediária |
| Hospital Do Coração Paraíso | 0.013 | Intermediária |
| Hospital Sao Luiz Jabaquara | 0.013 | Intermediária |
| Hospital Do Servidor Público Estadual Francisco Morato De Oliveira | 0.012 | Intermediária |
| Pronto Atendimento Sancta Maggiore - Jardim Paulista | 0.012 | Intermediária |
| Hospital Paulistano | 0.012 | Intermediária |
| Hospital Vitória - Unidade Avançada Tatuapé | 0.012 | Intermediária |
| Hospital 8 De Maio | 0.012 | Intermediária |
| Hospital Carlos Chagas | 0.012 | Intermediária |
| Hospital Geral São Mateus | 0.012 | Intermediária |
| Hospital Independência | 0.012 | Intermediária |
| Hospital Municipal Da Vila Santa Catarina | 0.012 | Intermediária |
| Hospital Villa Lobos | 0.012 | Intermediária |

| | | |
|------------------------------------------------------------------|-------|---------------|
| Pronto Socorro Municipal Lapa | 0.012 | Intermediária |
| Hospital Alvorada Moema | 0.011 | Intermediária |
| Hospital Cruz Azul | 0.01 | Intermediária |
| Hospital Da Luz Vila Mariana | 0.009 | Intermediária |
| Hospital Santa Cruz | 0.009 | Intermediária |
| Upa Campo Limpo | 0.008 | Intermediária |
| Hospital São Luiz Morumbi | 0.008 | Intermediária |
| Hospital Sepaco | 0.008 | Intermediária |
| Pronto Socorro Municipal 21 De Junho | 0.006 | Intermediária |
| Hospital Dante Pazzanese | 0.006 | Intermediária |
| Hospital Samaritano | 0.005 | Intermediária |
| Hospital Samaritano Paulista | 0.005 | Intermediária |
| Pronto Socorro Municipal Dona Maria Antonieta Ferreira De Barros | 0.005 | Intermediária |
| Ubs Integral Vera Cruz | 0.005 | Intermediária |
| O Hospital Jardim Helena | 0.005 | Intermediária |
| Hospital Nipo Brasileiro | 0.004 | Intermediária |
| Hospital Prof Edmundo Vasconcelos | 0.004 | Intermediária |
| Upa Perus | 0.004 | Intermediária |
| Hospital Sancta Maggiore Santana | 0.004 | Intermediária |
| Clinica Premium Care Campo Belo | 0.004 | Intermediária |
| Hospital Aviccena | 0.004 | Intermediária |
| O Hospital São Camilo Ipiranga | 0.004 | Intermediária |
| Upa Santo Amaro | 0.003 | Intermediária |
| Ps Lapa | 0.003 | Intermediária |
| Upa Pirituba | 0.003 | Intermediária |
| Ps Pirituba | 0.003 | Intermediária |
| Hospital Pérola Byington | 0.003 | Intermediária |
| Hospital Maternidade Vila Nova Cachoeirinha | 0.003 | Intermediária |
| Incor - Instituto Do Coração | 0.002 | Baixa |
| Hospital Da Policia Militar Barro Branco | 0.002 | Baixa |
| Hospital Central Guaianases | 0.002 | Baixa |
| Hospital Nossa Senhora Do Rosário | 0.002 | Baixa |

| | | |
|----------------------------------------------------------|-------|-------|
| Hospital Leforte Morumbi | 0.001 | Baixa |
| Hospital Santa Paula | 0.001 | Baixa |
| Hospital São Camilo Santana | 0.001 | Baixa |
| Hospital Sírío Libanês | 0.001 | Baixa |
| Santa Casa De Misericórdia - Santo Amaro | 0.001 | Baixa |
| Pronto Atendimento São Mateus | 0.001 | Baixa |
| Hospital Next Santo Amaro | 0.001 | Baixa |
| Ama Jardim Peri | 0.001 | Baixa |
| Hospital Albert Sabin | 0.001 | Baixa |
| Pronto Socorro Municipal Dr. Álvaro De Dino Almeida | 0.001 | Baixa |
| Ps Perus | 0.001 | Baixa |
| Day Hospital Ermelino Matarazzo | 0.001 | Baixa |
| Ubs Parelheiros | 0.001 | Baixa |
| Hospital Universitário | 0.001 | Baixa |
| Ibcc - Instituto Brasileiro De Controle Ao Câncer-Jaçanã | 0.001 | Baixa |
| Pronto Socorro Municipal Dr. Caetano Virgilio Neto | 0.001 | Baixa |
| Psm Balneário São José | 0.001 | Baixa |
| Upa Vila Santa Catarina | 0.001 | Baixa |
| Hospital Santa Isabel Veridiana | 0 | Baixa |
| Hospital Santa Cecília | 0 | Baixa |
| Centro Medico Da Policia Militar | 0 | Baixa |
| Hospital Sancta Maggiore Pinheiros | 0 | Baixa |
| Hospital Sao Joaquim Da Beneficência Portuguesa | 0 | Baixa |
| Hospital Presidente | 0 | Baixa |
| Hospital Oswaldo Cruz | 0 | Baixa |

Tabela 3. Índice de vulnerabilidade (Vul) dos Cemitérios e Crematórios da cidade de São Paulo quanto à mortalidade por suspeitos e confirmados com COVID-19 entre os dias 02/04/2020 e 28/04/2015. Quanto maior o índice, maior o potencial do local em receber vítimas.

| Locais | Vul | Classe |
|----------------------------------------------|------------|---------------|
| Cemitério Vila Formosa | 1 | Alta |
| Crematório Municipal Dr. Jayme Augusto Lopes | 0.325 | Alta |
| Cemitério São Pedro - Vila Alpina | 0.126 | Alta |
| Cemitério Saudade | 0.11 | Alta |
| Cemitério Vila Nova Cachoeirinha | 0.102 | Alta |
| Cemitério Dom Bosco | 0.095 | Alta |
| Cemitério São Luiz | 0.092 | Alta |
| Cemitério Itaquera | 0.073 | Alta |
| Cemitério Lageado | 0.053 | Alta |
| Cemitério Quarta Parada | 0.051 | Alta |
| Cemitério Araçá | 0.028 | Intermediária |
| Cemitério Parque das Cerejeiras | 0.028 | Intermediária |
| Cemitério Parque dos Pinheiros | 0.028 | Intermediária |
| Cemitério do Carmo | 0.02 | Intermediária |
| Cemitério do Carmo II | 0.018 | Intermediária |
| Cemitério Campo Grande | 0.017 | Intermediária |
| Cemitério da Lapa | 0.017 | Intermediária |
| Cemitério Parque Jaraguá | 0.017 | Intermediária |
| Cemitério do Morumbi | 0.013 | Intermediária |
| Cemitério Horto Florestal | 0.013 | Intermediária |
| Cemitério Parque da Cantareira | 0.012 | Intermediária |
| Cemitério Da Paz - Morumbi | 0.008 | Intermediária |
| Cemitério Gethsêmani Morumbi | 0.008 | Intermediária |
| Cemitério Parque dos Girassóis - Parelheiros | 0.006 | Intermediária |
| Cemitério Santana | 0.006 | Intermediária |
| Cemitério Tremembé | 0.006 | Intermediária |
| Velório Vila Mariana | 0.006 | Intermediária |
| Cemitério Consolação | 0.005 | Intermediária |

| | | |
|-------------------------------------|-------|---------------|
| Cemitério Redentor | 0.005 | Intermediária |
| Cemitério Gethsêmani Anhanguera | 0.004 | Intermediária |
| Cemitério Israelita - Butantã | 0.004 | Intermediária |
| Cemitério Jardim do Pêssego | 0.004 | Intermediária |
| Cemiterio Sao Paulo - Pinheiros | 0.004 | Intermediária |
| Cemitério Vila Mariana | 0.004 | Intermediária |
| Cemitério Freguesia do Ó | 0.003 | Intermediária |
| Crematório Memorial Parque Paulista | 0.003 | Intermediária |
| Crematório Bosque da Paz | 0.002 | Baixa |
| Cemitério da Penha | 0.001 | Baixa |
| Cemitério dos Protestantes | 0.001 | Baixa |
| Cemitério Parelheiros | 0.001 | Baixa |
| Cemitério Santíssimo Sacramento | 0.001 | Baixa |