

COVID-19 Borescope

uma ferramenta intuitiva, escalável e flexível para compreender e correlacionar padrões de mobilidade da população e casos de infecção

Antonio A. de A. Rocha*
arocha@ic.uff.br
IC/UFF
Niterói-RJ, Brasil

Nilson L. Damasceno†
nilsonld@id.uff.br
IC/UFF
Niterói-RJ, Brasil

Peron R. de Sousa‡
peron_rezende@id.uff.br
IC/UFF
Niterói-RJ, Brasil

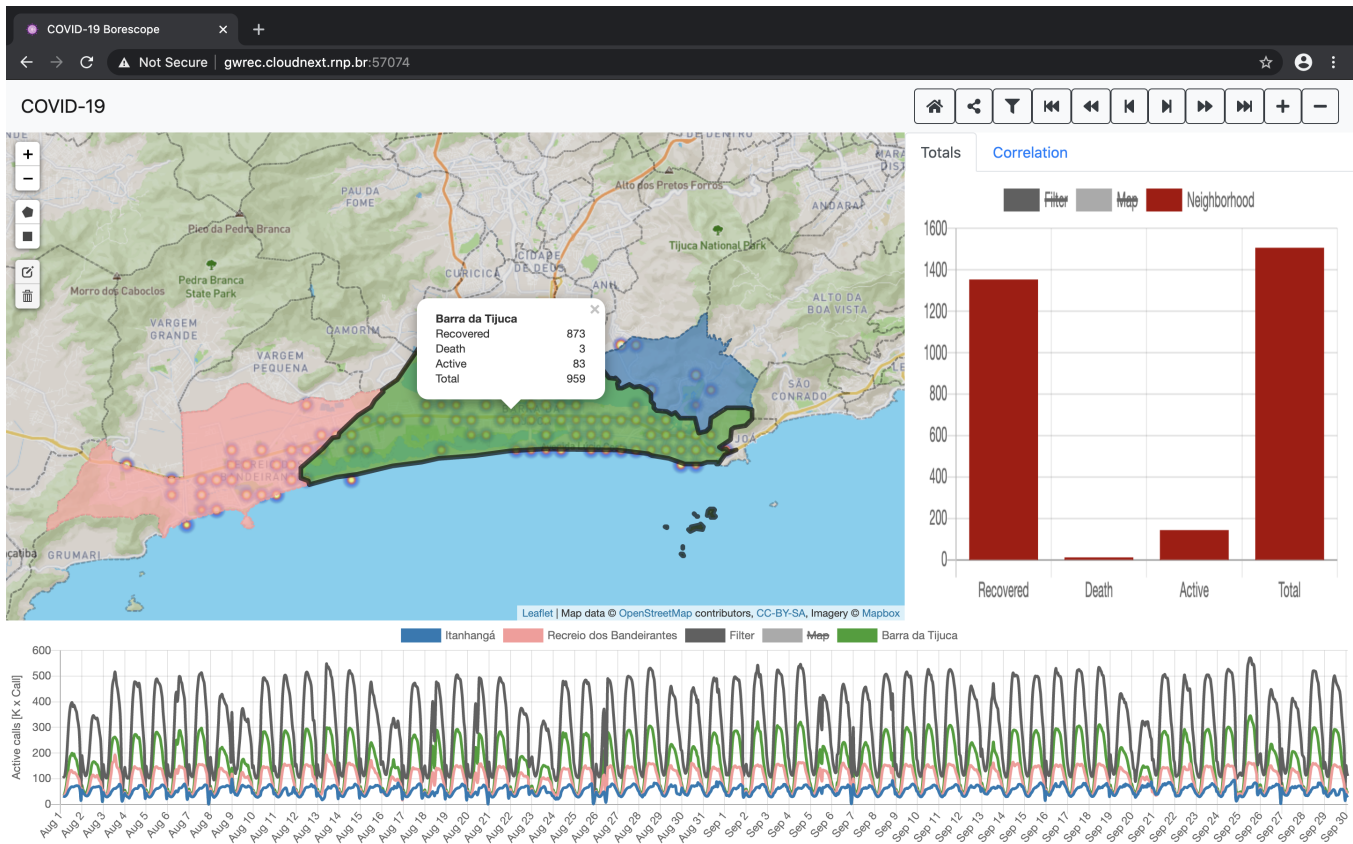


Figure 1: Interface Web da Ferramenta COVID-19 Borescope.

ABSTRACT

Lack of physical distancing, isolation, and social interactions are some of the key factors that have contributed to the spread of COVID-19 and transformed it into this global pandemic. Combining and correlating human mobility with the COVID-19 cases being reported may help to determine possible hotspots. Further, it may also help to provide guidance on how to possibly make lifestyle changes and choices to avert/limit future waves of this pandemic or a similar one. This project aims to cope with the research problems involved in the development of a graphical and interactive tool that performs intelligent data analysis of visually selected geo-temporal subsets of collected information. As a result of the project, it was launched the COVID-19 Borescope, which is shown in Figure 1.

*Professor - Coordenador do projeto
CV Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5784860269030800>
†Aluno de DSc - Bolsista do projeto
CV Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0532456662560286>
‡Ex-aluno de DSc - Desenvolvedor no projeto
CV Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8489910209054133>

1 INTRODUÇÃO

COVID-19 é uma pandemia global que infectou seres humanos em todos os países do mundo. A falta de distanciamento físico, isolamento social, uso de máscara e mecanismos que permitissem a realização de um rastreamento de contato eficaz são alguns dos principais fatores que contribuíram para a disseminação do COVID-19 e o transformou em uma pandemia global. Para mitigar a propagação da doença, a maioria dos países ao redor do mundo implementou vários níveis de confinamento (tradução para o termo inglês *lockdown*). Embora as imposições de confinamento tenham sido eficazes na redução da taxa de propagação [1], elas não foram capazes de conter a doença e as infecções continuam a aumentar em muitos países ao redor do mundo. Apesar dos números terem se reduzido em praticamente todo o mundo em certo momento, o que temos visto recentemente são novas ondas de contaminação, com o aumento em todos os indicadores, o que tem levado a muitas cidades e países voltarem a impor restrições de mobilidade, muitos até mesmo a decisão por decretarem novamente o *lockdown* à sua população. Por tudo isso, é inegável que ainda há uma necessidade urgente de compreender a fundo os efeitos dessas restrições sobre os padrões de mobilidade, para que se possam ser integrados de forma eficaz nas políticas governamentais de gestão e controle da pandemia.

Neste artigo, apresentamos o COVID-19 Borescope (vide Figura 1), uma ferramenta gráfica, interativa, escalável e otimizada que permite realizar uma análise inteligente de dados geo-temporais de mobilidade da população, a partir de registro de conexões de dispositivos na rede celular, e correlacionar com os dados de infecção por COVID-19 disponibilizados pelas agências de saúde. Para isso, foi firmado um acordo de colaboração entre a coordenação deste projeto e uma das maiores operadoras de celular do país, a TIM Brasil, no qual os dados desta operadora são enviados para a base de dados da ferramenta. Por questões estratégicas, mas que são passíveis de expansão, os dados utilizados no momento estão limitados aos registros de aproximadamente 1400 antenas, que representam toda infraestrutura da região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro para esta operadora. Os dados consistem de registros anonimizados de todas as conexões (incluindo chamadas, conexões de dados 3G/4G e mensagens de texto), feitas por dispositivos móveis na rede celular da TIM, sumarizados em intervalos de 5 minutos, a partir de 1º de março de 2020 até os dias atuais. Em média, são aproximadamente 120 milhões de registros de conexões por dia, de aproximadamente 2 milhões de usuários diferentes, o que até o momento já totaliza quase 30 bilhões de registros de conexão. Em paralelo a isso, dados públicos do SUS (Sistema Único de Saúde) e das secretarias estaduais e municipais de saúde também são obtidos, a partir dos portais de dados abertos da pandemia COVID-19¹, e armazenados outra base de dados da ferramenta.

Vale notar que, qualquer ferramenta que se proponha a realizar uma análise eficiente dos dados neste sentido precisa lidar com vários desafios computacionais. Os dados a serem analisados são potencialmente massivos, oriundos de múltiplas fontes e de diferentes tipos/formatos/valores em seus atributos, além de eventualmente dinâmicos e gerados em tempo real. Assim, qualquer ferramenta que ofereça uma solução de análise desses dados, para que seja eficiente e útil (por exemplo, para instituições governamentais e científicas)

precisa ser, ao mesmo tempo, flexível, escalável, otimizada e de uso amigável. O projeto do COVID-19 Borescope visa lidar com os problemas de pesquisa envolvidos no desenvolvimento de uma ferramenta gráfica e interativa, que oferece como característica a possibilidade de se realizar uma análise dos dados, eventualmente fazendo uso de algoritmos de aprendizado de máquina, à partir de subconjuntos de dados com seleções geo-temporais.

Além desta introdução e da próxima seção, que descreve os trabalhos relacionados, o restante deste artigo é organizado da seguinte forma. A Seção 3 apresenta a descrição detalhada da ferramenta COVID-19 Borescope, suas principais características e alguns resultados. As Seções 4 e 5 discorrem, respectivamente, sobre as perspectivas atuais e futuras do projeto e os possíveis impactos sociais gerados com a ferramenta. Por fim, as considerações finais são apresentadas na Seção 6.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Devido à natureza recente da pandemia, há um número limitado de trabalhos que examinam o impacto da pandemia em diferentes aspectos, em especial aspectos ligados à mobilidade, ao tráfego de Internet e da rede celular. O trabalho [9] apresenta uma caracterização do impacto do COVID-19 no tráfego da operadora de rede móvel e analisa as mudanças causadas pela pandemia. Feldman et al. [5] analisa o tráfego da Internet durante a pandemia do COVID-19 e conclui que o volume geral de tráfego aumenta em 15-20% uma semana após o *lockdown*. Também há trabalhos que se propõem a estudar sobre as reações à pandemia na Internet e nas redes sociais [2, 3]. Já em [11] é apresentada uma análise sobre o impacto das políticas de controle de COVID-19 na ocupação e na mobilidade de campus universitários por meio de detecção passiva em redes WiFi. Em [10], os autores também utilizam monitoramento passivo em redes WiFi para rastreamento de possíveis contatos e possível contaminação, particularmente focado na pandemia COVID-19.

Apesar de já haver trabalhos na literatura que tentam compreender o momento impar que vivemos, através da análise do tráfego de Internet e da rede celular, foge ao nosso conhecimento algum trabalho que: (i) realize estudos em larga escala, com o objetivo de analisar padrões de mobilidade durante o período da pandemia COVID-19, através de registros de dispositivos celular, e/ou correlacionem com dados de infecção da doença. A inexistência desses trabalhos se justifica, não só pela recência do fato que é a pandemia, mas também pela restrição de acesso e volumetria desses tipo de dado; e, (ii) ofereça uma ferramenta que permita à sociedade e órgãos governamentais a realização dessa análise.

Vale ressaltar que, muito embora existam painéis e ferramentas disponibilizadas por instituições (públicas e privadas) que apresentam dados e números do COVID-19 e até mesmo índices de mobilidade da população (tais como, Google Notícias COVID-19², Lab. de Estudos Espaciais do Centro de Pesquisas Computacionais, Rice University³, Ministério da Saúde/Governo Federal⁴, Prefeituras do Rio de Janeiro⁵ e de Niterói⁶), nenhum deles é tão flexível quanto o COVID-19 Borescope, como veremos à seguir.

²<https://news.google.com/covid19/map?hl=pt-BR>

³<https://coronavirusnobrasil.org/>

⁴<https://susanalitico.saude.gov.br/>

⁵<http://www.prefeitura.rio/coronavirus>

⁶<https://coronavirus.niteroi.rj.gov.br/>

¹COVID-19 Dados Abertos: <https://opendatasus.saude.gov.br/dataset>

3 COVID-19 BORESCOPE

COVID-19 Borescope foi desenvolvida com o propósito principal de oferecer uma ferramenta visual/interativa para auxiliar à sociedade e as instituições das mais diversas áreas das administrações governamentais a entenderem melhor o comportamento da população, quanto ao isolamento social durante o período de pandemia, e a evolução do COVID-19, por meio da análise de correlação entre a mobilidade de pessoas e os registros de ocorrências de infecção. Inicialmente alimentada com os dados da região metropolitana do Rio de Janeiro, que são até hoje continuamente atualizados na base de dados, a ferramenta encontra-se em uma etapa de expansão com a inclusão de novos dados, de outras regiões, e de novas funcionalidades. Portanto, essa é, sem dúvida, mais uma ferramenta que reforça o combate à pandemia, e que está disponível para o público⁷.

Ferramentas para exploração visual interativa de grandes volumes de dados oferecem um desafio tecnológico significativo, pois precisa combinar objetivos conflitantes: a realização de consultas variadas sobre grandes volumes de dados temporais geo-referenciados, a obtenção de respostas em tempos adequados para suportar a interação confortável dos usuários, a utilização de recursos computacionais convencionais, sem que sejam necessários os usos de supercomputadores, e a exibição visual dos resultados em plataforma de fácil utilização, como navegadores web. Para que ferramentas atendam a todos (ou pelo menos vários desses requisitos), se faz necessária a ao longo do tempo foram desenvolvidas soluções de compromisso que, ao reduzirem o leque dos possíveis tipos de consultas, permitiram a criação de estruturas de dados otimizadas, capazes de atender aos requisitos de tempo de resposta e de utilização de recursos computacionais. Portanto, para o desenvolvimento do COVID-19 Borescope, definiu-se como meta que a ferramenta deveria: (i) ser capaz de suportar uma grande quantidade de dados, possivelmente de várias fontes diferentes; (ii) atender aos requisitos de escalabilidade de sistema; (iii) oferecer flexibilidade para integrar novos algoritmos e novas fontes de dados; e, (iv) ser amigável e intuitivo para os usuários finais. Os detalhes da ferramenta desenvolvida são descritos à seguir.

3.1 Arquitetura

Para atender os requisitos definidos como meta de desenvolvimento da ferramenta COVID-19 Borescope, uma arquitetura robusta foi especificada. Conforme mostrado na Figura 2, essa arquitetura atualmente consiste em três servidores, dois no *back-end* e um no *front-end*. Porém, ela atende o requisito de escalabilidade e o número de servidores no *back-end* pode crescer indefinidamente, tanto na dimensão dos tipos diferentes de bases quanto na dimensão da volumetria de cada uma (ou alguma) das bases. Ou seja, a arquitetura da ferramenta permite que um servidor de *back-end* seja adicionado a cada nova base, assim como diferentes servidores de *back-end* podem ser utilizados para balancear a carga de alguma base maior.

No *front-end*, temos um NginX⁸ rodando como servidor de aplicação. No *back-end*, temos dois servidores de dados, um para armazenar as informações de conexões dos dispositivos móveis, recebida da operadora celular, e outro para armazenar os dados que são

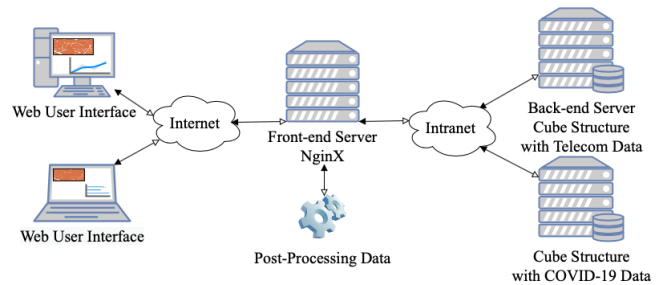


Figure 2: Detalhes da Arquitetura da Ferramenta COVID-19 Borescope.

obtidos do repositório de Dados Abertos fornecido pelo Ministério da Saúde. O NginX processa as requisições recebidas da Interface Web do Usuário, encaminha as consultas processadas para o(s) servidor(es) de *back-end* apropriado(s) e espera pela(s) resposta(s). Depois que o servidor de aplicação recebe a(s) resposta(s) do(s) servidor(es) de dados, ele ainda pode realizar algum pós-processamento ou pode encaminhar os resultados diretamente para o usuário final, a depender da consulta realizada pelo usuário através da interface web. No primeiro caso, os scripts de pós-processamento são acionados. Após finalizado o pós-processamento, os resultados são enviados de volta ao usuário final e apresentados de forma gráfica na interface web.

Atualmente, a ferramenta implementa, em suas chamadas de pós-processamento, alguns algoritmos de aprendizado de máquina para calcular correlações entre os dados de conexão e os registros de contaminação. Porém, uma das características mais importantes da ferramenta é a sua flexibilidade. O pós-processamento, por exemplo, é feito através de chamadas externas ao NginX, através de scripts implementados na linguagem Lua⁹. Isso permite que novas funções de pós-processamento sejam adicionadas à ferramenta ou substituam as já existentes, simplesmente alterando os scripts. Isso tudo sem a necessidade de interrupção da operação da ferramenta. Na versão atual, como parte de nossos esforços de pesquisa em andamento, estamos usando essa função para analisar o padrão de isolamento da população durante a pandemia e também tentar identificar correlações entre ao padrão de mobilidade e os casos de infecção em diferentes regiões da cidade.

3.2 Estrutura de Dados

Para os servidores de dados, a ferramenta usa uma nova estrutura de dados, que é uma variação otimizada dos Nanocubos [8]. Uma descrição completa dessa estrutura de dados está além do escopo deste artigo, será o assunto de uma publicação futura, mas encontra-se detalhada em [4]. No entanto, é importante mencionar que a estrutura de dados utilizada é uma base de dados *in-memory* e, como é o caso de qualquer estrutura Datacube [7], é especializada em realizar consultas geo-temporais estatísticas, de forma eficiente, com coordenadas organizadas na forma de QuadTrees [6], oferecendo baixo tempo de resposta para consultas e uso moderado de memória. Para garantir esse baixo tempo de resposta, a estrutura de dados armazena, de forma redundante e controlada, as informações que

⁷ Acessível em: <http://gwrec.cloudnext.rnp.br:57074/>

⁸ <http://nginx.org/>

⁹ <https://www.lua.org>

poderão vir a ser consultadas, utilizando estratégias que reduzem a quantidade de memória utilizada. A estrutura define e utiliza o conceito de schema, similar ao conceito de Esquema utilizado em bancos de dados relacionais, descrevendo como os dados estão logicamente organizados na estrutura. A estrutura também usa uma linguagem baseada em JSON, que emula uma sintaxe SQL simplificada para recuperar dados. Ele oferece declarações tradicionais como “select”, “where” e “group by” para selecionar, filtrar e agrupar os dados, respectivamente. O resultado recebido da estrutura de dados é encaminhada ao usuário final pelo NginX, antes e/ou depois de ser submetida às funções de pós-processamento.

3.3 Interface e Suas Funcionalidades

A Figura 1 fornece uma visão geral da interface da ferramenta, que é oferecida ao usuário na forma de uma interface web. Nesta interface, o usuário possui todas as funções de seleção interativa, e nela também são mostrados os resultados para análise de uma forma visual. A seguir, descrevemos resumidamente a interface. Na parte superior esquerda, a interface oferece as opções de navegação e seleção da(s) região(ões) no mapa, aquelas que o usuário deseja analisar. Na parte inferior da interface, o gráfico mostra a evolução do número de conexões ao longo do tempo, para a(s) área(s) de seleção do mapa. Esses resultados são oriundos dos dados de conexão da rede da operadora de celular. No lado direito, quando selecionada a aba “Total”, é mostrado o histograma para os registros de COVID-19, que inclui os números de casos Recuperados, óbitos, Ativos e Total, isso considerando apenas o intervalo de tempo selecionado. Já no caso da seleção da aba “Correlação”, é mostrado o resultado da análise de correlação obtida com o script de pós-processamento de um algoritmo de aprendizado de máquina. No canto superior direito, é exibido um painel de controle que permite aos usuários aumentar/diminuir o zoom no tempo, navegar temporalmente nos resultados, filtrar as regiões da cidade por nome, gerar um link de compartilhamento da tela, e voltar ao estado inicial da ferramenta. Por fim, arrastando o cursor para algum dos bairros da cidade, um pop-up aparece sobre a seleção mostrando um resumo dos números de COVID-19 para aquela região específica da cidade.

3.4 Alguns Resultados e Análises

A Figura 3¹⁰ apresenta um exemplo de resultado obtidos a partir da ferramenta COVID-19 Borescope. O gráfico mostra o número de conexões ocorridas em toda região da cidade do Rio de Janeiro (ou seja, considerando todas as 1400 antenas) ao longo do período que contempla os dias entre 01-03-2020 e 30-06-2020. As duas linhas vermelhas verticais adicionadas à figura dividem o gráfico em três regiões: (i) a porção à esquerda da primeira linha vermelha representa a variação nas conexões antes do início do confinamento, ou seja, de 01-03-2020 a 15/03/2020; (ii) a porção entre as duas linhas vermelhas representa a variação nas conexões durante o período de confinamento mais rígido, ou seja, entre os dias 13-03-2020 e 01-06-2020; e, (iii) a porção à direita da segunda linha vermelha representa a variação nas conexões, após o confinamento ser relaxado, ou seja, de 02-06-2020 a 30-06-2020. Essa simples análise nos permite perceber que o período de confinamento mais rígido teve um impacto significativo na mobilidade.

¹⁰Figura retirada de uma análise em colaboração com equipe da SUNY, a ser publicada.

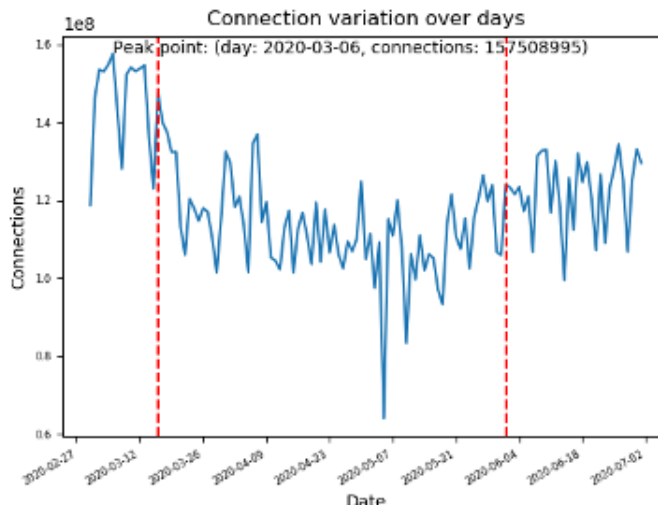


Figure 3: Número de conexões ocorridas no Rio de Janeiro ao longo dos dias entre 01-03-2020 e 30-06-2020.

A Figura 4 apresenta a correlação temporal dos dados de propagação do COVID-19. Cada ponto do gráfico indica qual a correlação entre o valor normalizado do número de conexões na região geográfica selecionada e o número de casos, também normalizado, de incidência de COVID-19. O objetivo de uma análise dessa é tentar correlacionar altos/baixos números de conexões, que refletem de certa forma em um alto índice também de mobilidade, com o aumento/redução no número de contaminações. Como é de conhecimento, há um deslocamento no tempo, entre a ocorrência da contaminação e o diagnóstico da doença. Assim, essa análise permite identificar: (i) se há uma correlação entre o aumento dos índices de infecção e os índices de isolamento, com a possibilidade de deslocamentos semanais entre a correlação desses valores. O eixo X possibilita explorar a correlação entre as duas grandezas para cada semana, contadas a partir do início do período do tempo selecionado e indo até a semana correspondente a data final deste período de tempo.

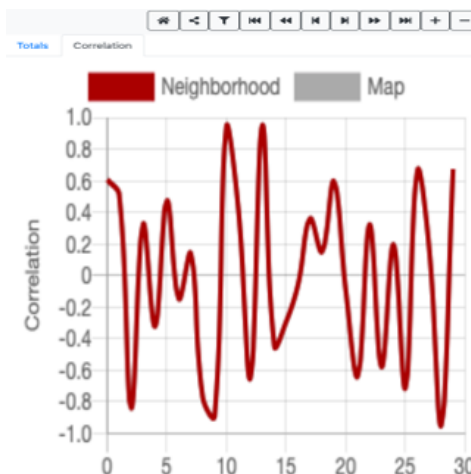


Figure 4: Correlação temporal dos dados de propagação do COVID-19 e o número de conexões na rede celular na região geográfica selecionada.

4 PERSPECTIVA ATUAIS E FUTURAS

Atualmente, a ferramenta encontra-se disponível para uso público. Embora os dados sejam restritos, a ferramenta em si é de domínio público e está disponível no GitHub do projeto¹¹. No GitHub também é disponibilizado um vídeo com orientações de uso da ferramenta, para facilitar o conhecimento operacional da interface web para o usuário da ferramenta.

No momento, o COVID-19 Borescope está operando apenas com dados da região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro. Porém, essa não é uma restrição técnica, mas sim uma questão de estratégia do projeto. Isso se deve ao grande volume de dados. Porém, entendemos que a ampla divulgação desta ferramenta possa gerar interesse de instituições governamentais, que podem nos procurar e ajustarmos a inclusão de novas regiões do país em operação. Tecnicamente, para isso, basta que a ferramenta seja devidamente ajustada e os dados dessa nova região passem a ser carregados nas bases. Tanto os dados da operadora quanto os dados dos registros de saúde estão à disposição da equipe do projeto para serem carregados. Portanto, está nos planos para o projeto a ampliação da cobertura de operação da ferramenta já nas próximas semanas.

Duas outras perspectivas interessantes do projeto, por conta da flexibilidade da ferramenta, é a possibilidade de que: (i) novos algoritmos de análise de dados sejam adicionados; e, (ii) com um esforço pequeno, novas bases de dados sejam acrescentadas a ferramenta, o que permitiria analisar visualmente ou através de algoritmos, os próprios dados ou a correlação com os dados legados da ferramenta. Por exemplo, no momento, estamos estudando a possibilidade de acrescentar dados obtidos a partir de redes sociais, com registros geo-espaciais, para que sejam extraídas informações relevantes (e.g., *top-trends* e classificações emocionais) na tentativa de identificar correlações com os diferentes momentos da pandemia e nas diferentes regiões da cidade.

Por fim, uma outra perspectiva futura é que dados de outras operadoras sejam adicionados à ferramenta. No momento, contatos estão sendo feitos com as demais operadoras, para que a parceria seja estendida a todas as quatro grandes operadoras do país.

5 IMPACTO SOCIAL

Embora nenhuma análise mais formal para avaliar o impacto social tenha sido utilizada, por exemplo com métricas específicas como o *Social Return on Investment (SROL)*, para quantificar/valorar o potencial de contribuição ou retorno social que o projeto do COVID-19 Borescope possa trazer para a sociedade, é inegável que a ferramenta tem potencial de auxiliar os gestores da crise e instituições governamentais na tomarem decisões importantes para o momento. Valorar todos os possíveis benefícios que a sociedade pode obter com o uso em larga escala do COVID-19 Borescope não é trivial, mas considerando o baixo custo operacional da ferramenta e todo potencial de uso dela, sem dúvida tem um grande potencial de retorno social.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como considerações finais, é importante dizer que, com a volta no aumento do número de casos de contaminação em muitas cidades e países do Brasil e do mundo, onde diversos desses locais já se

discute eventuais ações de novos confinamentos, controlar a mobilidade e correlacionar com os relatórios de contaminação por COVID é um fator chave e promissor no controle da propagação do vírus e/ou de uma segunda onda. Este artigo apresentou o COVID-19 Borescope, uma ferramenta web interativa que permitem analisar padrões de mobilidade, números de casos de infecção, e identificar correlações desses índices, em diferentes granularidades, que tem o potencial de auxiliar gestores e instituições governamentais na tomada de decisões durante a pandemia. O projeto lida com os desafios de pesquisa para o desenvolvimento de uma ferramenta gráfica, interativa, escalável e otimizada, que permita realizar uma análise inteligente de dados geo-temporais de mobilidade da população, a partir de registro de conexões de dispositivos na rede celular, e correlacionar com os dados de infecção por COVID-19 disponibilizados pelas agências de saúde. O projeto, além de ter grande potencial para ajudar a gestão da crise, ele também pode ser usado para fins de pesquisa. Por fim, a ferramenta é de uso público, está disponível para ser usada com os dados da cidade do Rio de Janeiro, e pode ser facilmente ajustada para passar a operar com os dados de qualquer outra região do país ou do mundo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a operadora TIM pela cessão dos dados e toda equipe pelo suporte para o projeto. Agradecemos também a RNP (Rede Nacional de Ensino e Pesquisa), por fornecer a infraestrutura computacional para execução da ferramenta COVID-19 Borescope.

REFERENCES

- [1] Abdulkadir Atalan. 2020. Is the lockdown important to prevent the COVID-19 pandemic? Effects on psychology, environment and economy-perspective. *Annals of Medicine and Surgery* 56 (2020), 38–42.
- [2] Timm Boettger, Ghida Ibrahim, and Ben Vallis. 2020. How the Internet reacted to Covid-19. In *Proceedings of Internet Measurement Conference (IMC)*.
- [3] Emily Chen, Kristina Lerman, and Emilio Ferrara. 2020. Tracking Social Media Discourse About the COVID-19 Pandemic: Development of a Public Coronavirus Twitter Data Set. *JMIR Public Health and Surveillance* 6, 2 (2020), e19273.
- [4] Nilson L. Damasceno. 2020. *Tinycubes: Tecnologia modular para exploração visual e interativa de grandes volumes de dados espaço-temporais multidimensionais gerados continuamente*. Master's thesis. Programa de Pós-graduação em Computação - Universidade Federal Fluminense.
- [5] Anja Feldmann, Oliver Gasser, Franziska Lichtblau, Enric Pujol, Ingmar Poese, Christoph Dietzel, Daniel Wagner, Matthias Wichtlhuber, Juan Tapidor, Narseo Vallina-Rodriguez, et al. 2020. The Lockdown Effect: Implications of the COVID-19 Pandemic on Internet Traffic. In *Proceedings of Internet Measurement Conference (IMC)*.
- [6] R. A. Finkel and J. L. Bentley. 1974. Quad trees a data structure for retrieval on composite keys. *Acta Informatica* 4, 1 (1974), 1–9.
- [7] J. Gray, A. Bosworth, A. Lyaman, and H. Pirahesh. 1996. Data cube: a relational aggregation operator generalizing GROUP-BY, CROSS-TAB, and SUB-TOTALS. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on Data Engineering*, 152–159.
- [8] L. Lins, J. T. Klosowski, and C. Scheidegger. 2013. Nanocubes for Real-Time Exploration of Spatiotemporal Datasets. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 19, 12 (2013), 2456–2465.
- [9] Andra Lutu, Diego Perino, Marcelo Bagnulo, Enrique Frias-Martinez, and Javad Khangoslar. 2020. A Characterization of the COVID-19 Pandemic Impact on a Mobile Network Operator Traffic. In *Proceedings of Internet Measurement Conference*.
- [10] Ameer Trivedi, Camellia Zakaria, Rajesh Balan, and Prashant Shenoy. 2020. WiFi-Trace: Network-based Contact Tracing for Infectious Diseases Using Passive WiFi Sensing. *arXiv preprint arXiv:2005.12045* (2020).
- [11] Camellia Zakaria, Ameer Trivedi, Michael Chee, Prashant Shenoy, and Rajesh Balan. 2020. Analyzing the Impact of Covid-19 Control Policies on Campus Occupancy and Mobility via Passive WiFi Sensing. *arXiv preprint arXiv:2005.12050* (2020).

¹¹<https://github.com/tinycubes-br/COVID-19>