

# Um Modelo de Localização para Distribuição de Vacinas Contra a Covid-19 no Município do Rio de Janeiro

Sabrina H. Rodrigues<sup>1</sup>, Lohana R. Do Nascimento<sup>1</sup>, Ana Lúcia D. De Mello<sup>1</sup>,  
Rachel S. Mendes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CEFET/RJ - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA  
CELSO SUCKOW DA FONSECA (UNED ITAGUAÍ) Rod. Gov. Mário Covas, s/n -  
Santana, Itaguaí - RJ, 23812-101

sabrina.rodrigues@aluno.cefet-rj.br, lohana.nascimento@aluno.cefet-rj.br,  
ana.mello@cefet-rj.br, rachel.mendes@cefet-rj.br

**Abstract.** *The location of the distribution center can impact the efficiency of the distribution of the COVID-19 vaccines. The coronavirus corresponds to is a large family of viruses common in many animal species. It's infection in humans can lead to a SARS – Severe Acute Respiratory Syndrome. The emergence and spread of this virus resulted in a pandemic in the first quarter of 2020, bringing several logistical challenges, as a guarantee for the distribution of PPE, as well as the development and provision of vaccines to the population. The present study aims to propose a mathematical model based on operational research, in order to offer an effective delivery of the Covid-19 vaccine in the boundaries of the city of Rio de Janeiro. Furthermore, it is suggested a new point for a location of a vaccines distribution center. In order to analyze the coverage area of the vaccination posts in relation to the demand, the Voronoi Diagram method was used through the QGIS software, having as a database the addresses of the Basic Health Units (UBSs) and the elderly population residing in the city of Rio de Janeiro. To validate the result generated by the software the center of gravity method was applied using the Solver tool. The applications resulted in a new location for the distribution center to be used by the city. This way, the methodology proved to be adequate for the proposed objectives and made it possible to analyze a new possible scenario regarding the location for a vaccine distribution center.*

**Keywords:** Voronoi diagram; Location Models; COVID-19; Vaccines.

**Resumo.** *A localização do centro de distribuição pode gerar impactos na eficiência da distribuição da vacina contra a COVID-19. O coronavírus corresponde a uma grande família de vírus comuns em muitas espécies de animais, e sua infecção nos seres humanos pode acarretar uma síndrome respiratória aguda. O surgimento e disseminação desse vírus resultou em uma pandemia no primeiro trimestre de 2020, apresentando diversos desafios logísticos, como a garantia de distribuição de Equipamento de Proteção Individual, assim como o desenvolvimento e fornecimento de vacinas para a população. O presente estudo tem como objetivo propor um modelo matemático baseado em Pesquisa Operacional, a fim de oferecer uma distribuição eficaz da vacina contra a COVID-19 nas delimitações do município do Rio de Janeiro. Além disso, sugerir um novo ponto para a localização de um centro de*

*distribuição dessas vacinas. Com o intuito de analisar a área de abrangência dos postos de vacinação em relação a demanda, utilizou-se o método do diagrama de Voronoi através do software QGIS, tendo como base de dados os endereços das Unidades Básicas de Saúde e a população de idosos residentes do município do Rio de Janeiro. Para validar o resultado gerado pelo software, foi aplicado o método de centro de gravidade a partir do suplemento Solver. As aplicações resultaram em um novo local para o centro de distribuição a ser utilizado pelo município. Desta forma, a metodologia mostrou-se adequada para os objetivos propostos e possibilitou análises de um novo possível cenário referente a localização para um centro de distribuição de vacinas.*

**Palavras-chave:** COVID-19. Diagrama de Voronoi. Modelos de Localização. Vacinas.

## 1. INTRODUÇÃO

A COVID-19 se trata de uma infecção respiratória aguda, gerada pelo coronavírus, uma grande família de vírus comuns em muitas espécies de animais. As vacinas aumentam a probabilidade de prevenir a propagação dessas doenças e salvar a vida de milhões de pessoas, incluindo crianças e idosos. Desde o início da pandemia foram apresentados diversos desafios logísticos, como a garantia de distribuição de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) para funcionários da área de saúde ou máscaras, luvas e álcool em gel. Com o início da vacinação no Brasil, dois tipos de vacinas foram aplicados inicialmente e ambas necessitavam de duas doses, sendo assim necessária a criação de estratégias que permitissem o maior alcance possível com menor custo e menor tempo também.

No Brasil, o processo de distribuição das vacinas teve início com a aprovação do imunizante pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), em seguida foram selecionados os laboratórios capacitados para atender as demandas do Sistema Único de Saúde (SUS) segundo a demanda de cada estado. As secretarias estaduais de saúde foram responsáveis por enviar as vacinas às secretarias municipais e considerando-se completo o processo logístico de distribuição das vacinas, quando os municípios entregam as vacinas aos postos de vacinação para sua aplicação (AGÊNCIA BRASIL, 2022). Como consequência de um vírus inesperado e fatal, tornou-se extremamente necessário a busca por métodos que ajudassem no controle da disseminação da COVID-19. Com isso, houve grande necessidade de que o Programa Nacional de Imunização (PNI) fosse seguido rigorosamente, pois as poucas opções de vacinas aprovadas e suas escassas quantidades, exigiam que o plano de distribuição fosse executado eficazmente para atender ao grupo prioritário. Isto posto, o presente estudo investigou como a localização do centro de distribuição pode impactar na eficácia da distribuição das vacinas contra a COVID-19.

Diante deste cenário, é válido compreender o conceito de logística humanitária, desenvolvido, dentre outros objetivos, para buscar maneiras de vencer o tempo e a distância na movimentação e serviços de forma eficiente e eficaz, trazendo mais segurança e a entrega correta no tempo necessário de todos os suprimentos que a situação em questão exige (NOGUEIRA et al., 2007). Neste estudo, a logística humanitária é centrada na entrega de maneira ótima das vacinas considerando quatro componentes nesta cadeia de fornecimento: produto (que tipo de vacina é necessária?), produção (quantas vacinas devem ser produzidas e quando?), alocação (quem deve receber a vacina?), e

distribuição (como a vacina deve ser entregue?). Uma cadeia de distribuição de vacinas eficaz exige uma estrutura geral eficiente, um exame da taxa de demanda, requisitos de inventário, e identificar locais adequados para a sua distribuição.

A proposta deste trabalho foi aplicar um modelo matemático baseado em Pesquisa Operacional, a fim de oferecer uma distribuição eficaz da vacina contra a COVID-19 nas delimitações do município do Rio de Janeiro utilizando. O diagrama de Voronoi foi utilizado como técnica para análise de proximidade em um plano e o *software* QGIS como ferramenta para representar visualmente. E comparar a localização do atual centro de distribuição e o proposto pelo modelo matemático, intencionando aprimorar a distribuição de vacinas, bem como o atendimento dos grupos prioritários com maior eficácia.

## 2. METODOLOGIA

Este estudo é caracterizado por sua natureza aplicada, onde propõe estimular o conhecimento com finalidade de aplicação prática e orientar a solução da problemática, a partir dos objetivos definidos. Sua abordagem é qualitativa e quantitativa, que visa traduzir, em números, as informações a fim de classificá-las e analisá-las.

Inicialmente buscou-se realizar uma pesquisa exploratória, a fim de contextualizar o assunto e construir hipóteses. Sendo assim, buscou-se refinar ideias e conhecimentos através dos seguintes procedimentos técnicos: pesquisas bibliográficas, levantamento de dados e aplicação do estudo. O levantamento de dados foi realizado, principalmente, por meio de informações do Ministério da Saúde sobre o município do Rio de Janeiro.

A pesquisa bibliográfica foi conduzida, sobretudo, a partir de bases científicas da OMS (Organização Mundial da Saúde) e do Ministério da Saúde, que se encontram disponíveis em seus respectivos sites e documentos oficiais. Além disso, foram examinados artigos em congressos, monografias e periódicos relacionados ao tema abordado, com foco direcionado aos que continham estudos correspondentes à utilização dos métodos e abordagens utilizados neste trabalho. Dessa maneira, foi possível aperfeiçoar o entendimento sobre os tópicos levantados e buscar informações sobre Diagrama de Voronoi relacionadas com a distribuição de vacinas, estabelecendo assim uma pesquisa demonstrada no trabalho como uma ponte que permite ligar este estudo, com o avanço do conhecimento no campo abordado.

O diagrama escolhido também permitiu realizar o mapeamento de unidades de saúde em um banco de dados, a quantização vetorial é uma aplicação importante bastante empregada para compactação de dados permitindo assim que seja realizada a modelagem de funções probabilísticas através de vetores protótipos. Esses vetores ou pontos foram divididos em grupos com o mesmo número de pontos mais próximos a eles, obtendo assim seu ponto centroide e outros agrupamentos. Os pontos de dados foram representados pelo índice de seu centroide mais próximo, resultando em dados com baixos erros referentes a ocorrências comuns, já os dados raros, possuem alto erro (FLECK, 2004). A Figura 1 apresenta as três fases nas quais o estudo foi desenvolvido.

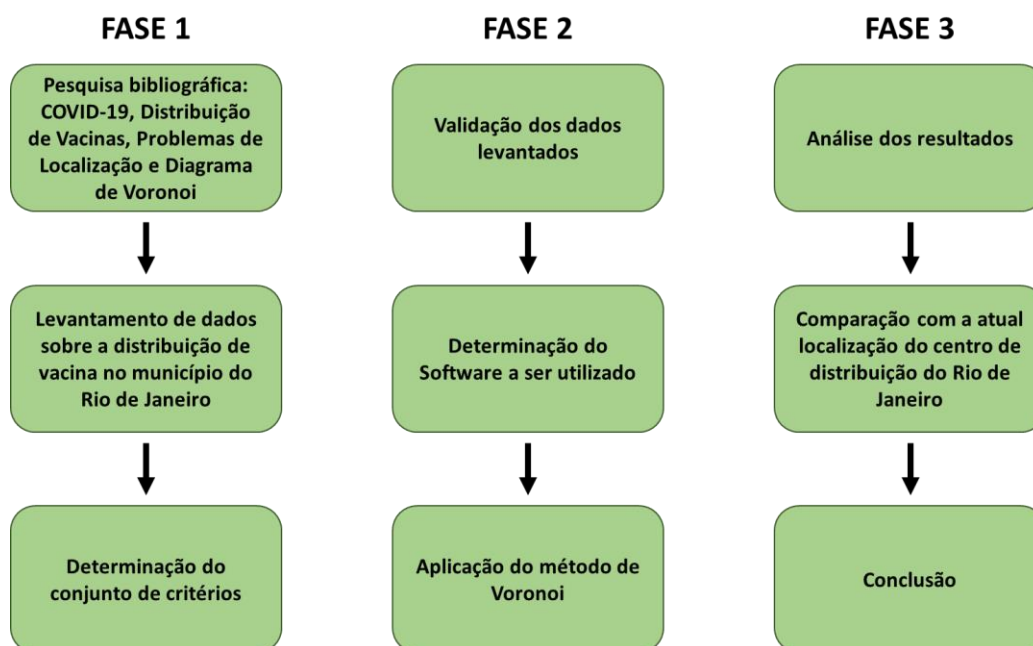


Figura 1: Fases do desenvolvimento do estudo.

Fonte: Autores

Na Fase 1 foi realizada uma análise bibliográfica referente à COVID-19 e sua disseminação no município do Rio de Janeiro, assim como à distribuição das vacinas que tem como objetivo minimizar os impactos do coronavírus na saúde da população, além do levantamento do material de estudo a respeito dos problemas de localização e da metodologia do diagrama de Voronoi. Nesta fase foi realizada a verificação dos dados relacionados à distribuição de vacinas no município do Rio de Janeiro e a determinação dos critérios que serão utilizados na aplicação do método definido.

Na Fase 2 todos os dados foram validados a fim de garantir a confiabilidade do presente estudo, e posteriormente foi definido o *software* utilizado na aplicação do método e tendo todas essas etapas completas foi aplicado o método de Voronoi. Partindo para a Fase 3, todos os resultados provenientes da aplicabilidade do método foram analisados e comparados com a localização do atual centro de distribuição do Rio de Janeiro.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa relacionada aos dados sobre a COVID-19 teve como ponto de origem o site do Ministério da Saúde, órgão do Poder Executivo Federal, responsável pela organização e elaboração de planos e políticas públicas voltados para a promoção, prevenção e a assistência à saúde dos brasileiros (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2022). A plataforma do Governo Federal disponibiliza com transparência inúmeros dados sobre saúde, incluindo definições e indicadores relacionados ao Brasil de maneira ampla. Por esse estudo ser direcionado ao município do Rio de Janeiro, foi necessário reduzir a busca para os dados concentrados na cidade, para isso, foi utilizada a plataforma da Secretaria de Saúde, gerenciada pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro. Além do site da Secretaria de Saúde, a principal fonte de dados utilizada neste estudo resulta do DataRio.

O DataRio consiste em um armazém de dados do Instituto Pereira Passos (IPP) que tem foco na transparência e desenvolvimento de informações estatísticas, mapas, estudos e pesquisas sobre a cidade do Rio de Janeiro (INSTITUTO PEREIRA PASSOS, 2022). Nesse armazém de dados foi possível estratificar os endereços e coordenadas geográficas de todos os postos de vacinação do município do Rio de Janeiro, assim como informações sobre população residente por bairro, que são dados imprescindíveis para a aplicação do método proposto.

A base utilizada para construir o diagrama de Voronoi foram as coordenadas geográficas no sistema UTM (Universal Transversa de Mercator) das Unidades Básicas de Saúde.

### 3.1 Aplicação do Diagrama de Voronoi

Os pontos geradores aplicados no trabalho foram as Unidades Básicas de Saúde (UBS) do Município do Rio de Janeiro, RJ. As UBS são estabelecimentos de atenção primária do Sistema Único de Saúde (SUS), e de acordo com o Ministério da Saúde, esses postos têm por finalidade atender até 80% dos problemas de saúde da população, evitando o encaminhamento dos pacientes para hospitais. A vacinação está entre os principais serviços oferecidos nas unidades, assim como coleta de exames, pré-natal, realização de curativos, tratamento de doenças crônicas e encaminhamento para atendimento com especialistas.

Para esse estudo foram mapeadas 343 Unidades Básicas de Saúde distribuídas em 109 bairros pertencentes ao município do Rio de Janeiro, como demonstrado na Figura 2.



Figura 2: Unidades Básicas de Saúde.

Fonte: Autores.

O *software* QGIS foi utilizado como ferramenta para representar visualmente todas as UBSs distribuídas no município do Rio de Janeiro. Inicialmente foram inseridas três camadas que compõem a ilustração: a primeira contém os pontos correspondentes a cada Unidade de Saúde, gerados a partir de seus respectivos endereços; a segunda apresenta as linhas que delimitam os bairros da cidade em questão. Os dados referentes às duas camadas citadas são provenientes da plataforma DataRio, armazém de dados do

Instituto Pereira Passos (IPP) que tem foco na transparência e desenvolvimento de informações estatísticas, mapas, estudos e pesquisas sobre a Cidade do Rio de Janeiro (INSTITUTO PEREIRA PASSOS, 2022); a terceira e última é o mapa disponibilizado pelo *Google Satellite*.

O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) gratuito e de código aberto licenciado pela Licença Pública Geral (GNU), e elaborado pela OSGeo (*Open Source Geospatial Foundation*), uma organização sem fins lucrativos que tem por objetivo apoiar e promover o desenvolvimento de tecnologias e dados geoespaciais gratuitos. O QGIS é considerado um dos softwares mais desenvolvidos, estáveis e populares de SIG não proprietário, administrado e conduzido de maneira colaborativa e voluntária (MANGHI et al., 2011). Por ser um software de código aberto, o QGIS possui vantagem financeira em comparação a outros sistemas que têm custos de licenças elevados com as mesmas funções, além disso, proporciona maior autonomia de uso, de distribuição, de estudo, de atualização e de modificação (FALCÃO et al., 2005).

A fim de priorizar o atendimento à vacinação, foi definido que a distribuição dos imunizantes deve ser realizada conforme a população de idosos por bairro, com base nos grupos de risco listados pelo Ministério da Saúde. Considera-se como idoso no município do Rio de Janeiro pessoas a partir dos sessenta anos de idade, à vista disso, foram estratificados da plataforma DataRio os dados populacionais da cidade, classificados de acordo com as idades dos residentes de cada bairro. A partir da coleta de dados foi possível selecionar e verificar os bairros que possuem maior população de idosos na localidade examinada. O gráfico apresentado na Figura 3 mostra a quantidade de idosos em ordem decrescente pertencentes a vinte bairros do Rio de Janeiro.

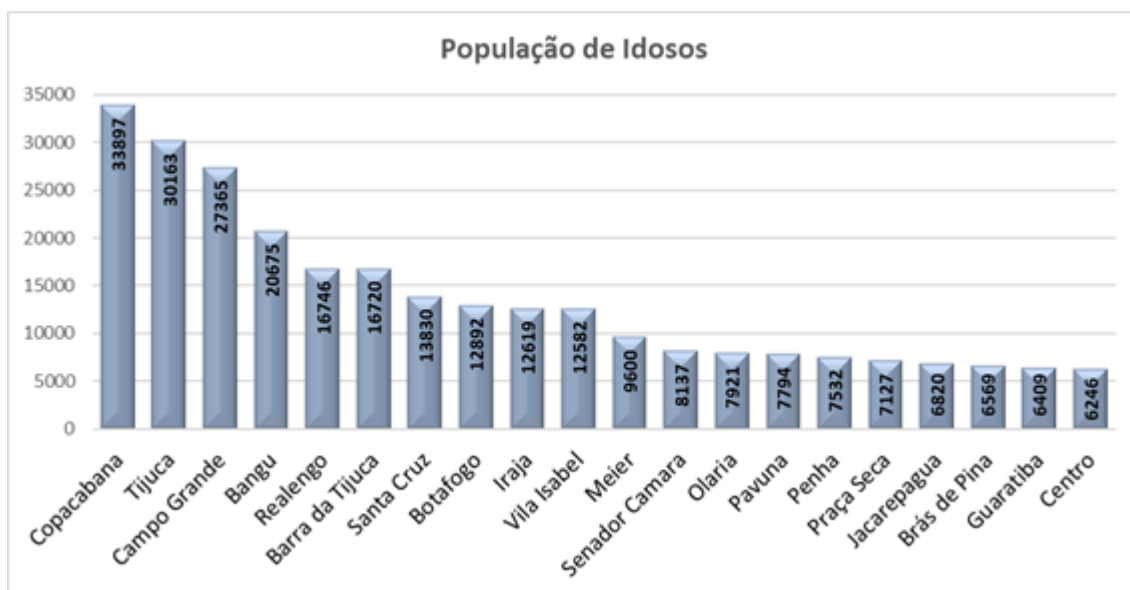


Figura 3: População de idosos por bairro.

Fonte: Autores.

A partir do número de idosos residentes por bairro, foi realizada a relação entre essa população e pelo menos uma Unidade Básica de Saúde, representando a demanda estudada, conforme apresentado na Figura 4.

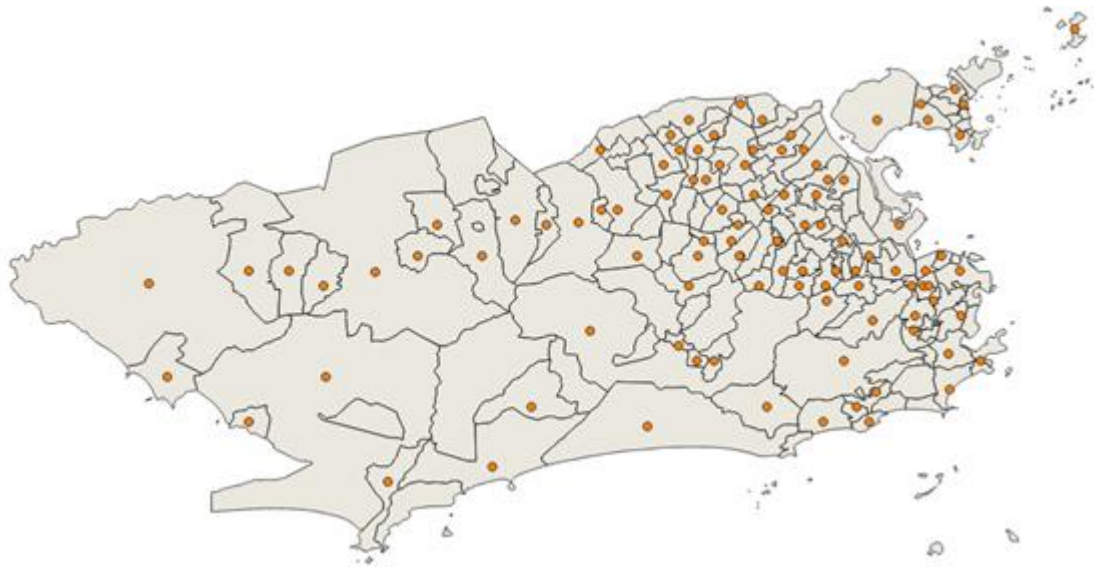


Figura 4: Relação entre a população de idosos por bairro e a existência de ao menos uma UBS.

Fonte: Autores.

Com o intuito de analisar se a área de abrangência dos postos de saúde satisfaz a demanda, foi gerado um diagrama de Voronoi a partir dos pontos que representam a população de idosos por bairro, e cada polígono deu origem a um centroide, conforme a Figura 5.

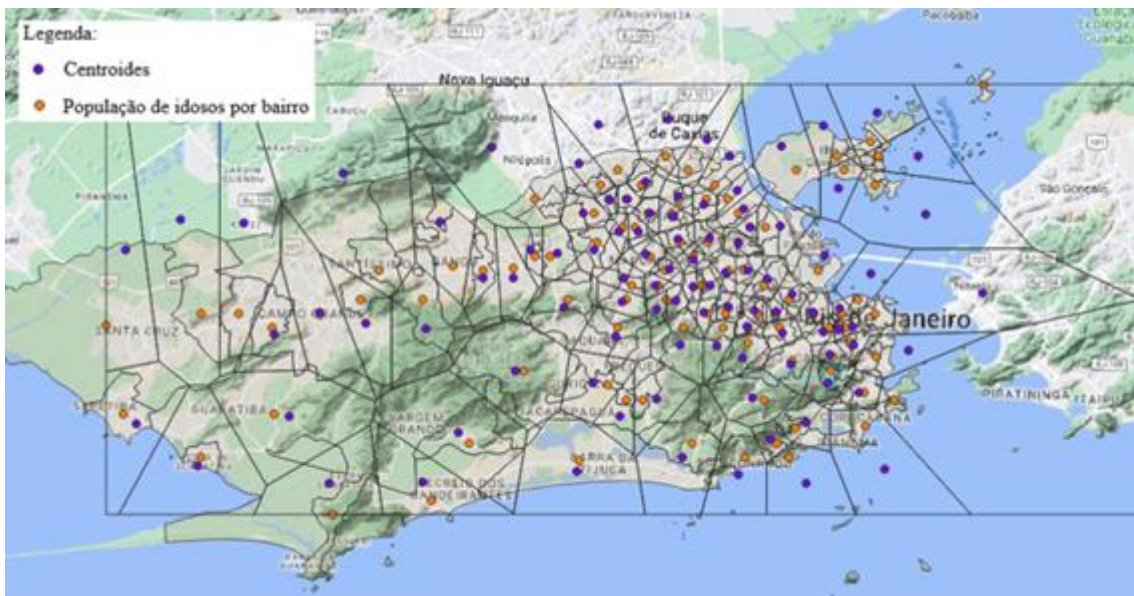


Figura 5: Diagrama de Voronoi a partir dos pontos que representam a população de idosos por bairro.

Fonte: Autores

A ferramenta utilizou como limite geográfico os pontos que simbolizam os bairros de Santa Cruz, Barra de Guaratiba e a ilha de Paquetá, e inicialmente formou um retângulo a fim de cobrir a área desejada. Como consequência, os polígonos que envolvem os bairros limítrofes ultrapassaram o território do município, de mesmo modo que seus

centroides. É importante notar que as áreas de outros municípios da região metropolitana do Rio de Janeiro também influenciam na geração do diagrama de Voronoi, implicando em seu resultado. Vale salientar que os centroides que não se encontram nos bairros limítrofes coincidem com os pontos geradores, fato que evidencia a eficácia do método, ainda que ele apresente determinadas limitações.

Ao comparar a localização das Unidades Básicas de Saúde e os centroides provenientes do diagrama de Voronoi, observa-se que para cada centroide existe mais de um posto de vacinação, como demonstrado na Figura 6. São 343 UBSs para atender a população de 109 bairros, portanto, aproximadamente três postos de saúde por bairro. Sendo assim, pôde-se verificar que a quantidade e a localização atual das Unidades de Saúde abrangem, em termos espaciais, as áreas de concentração de demanda dos bairros.

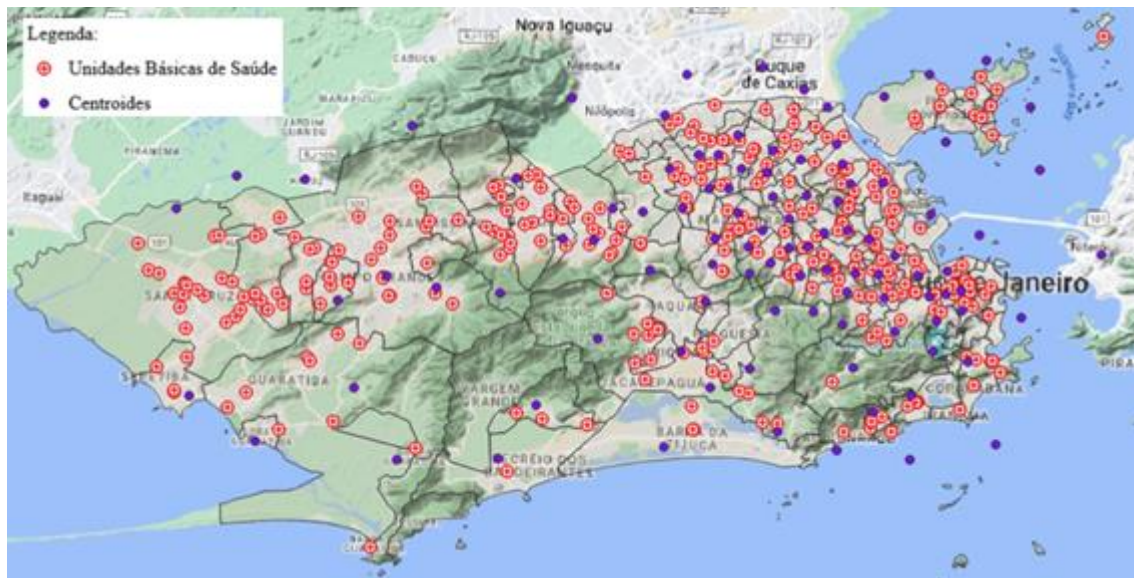


Figura 6: Comparação entre UBSs e centroides.

Fonte: Autores

Para que a distribuição de vacinas possa acontecer de maneira equivalente em todos os postos de vacinação, é importante que o Centro de Distribuição responsável pelo abastecimento seja alocado a uma distância média das Unidades Básicas de Saúde. Com a finalidade de obedecer a essa condição, foi aplicada a funcionalidade de coordenadas médias, método que identifica o centro gravitacional geométrico espacial de um conjunto de pontos e representa a posição central de pontos no espaço, em que a soma das distâncias em relação aos outros pontos é a menor possível. Baseado nessa premissa, o *software* sugeriu a posição do Centro de Distribuição que melhor se adequa ao cenário, localizado no bairro Jardim Sulacap conforme a Figura 7.



O Centro de Distribuição (CD) utilizado pelo Ministério da Saúde para fornecer os imunizantes aos postos de vacinação no município do Rio de Janeiro encontra-se na Zona Norte, especificamente no bairro Cordovil. A distância da localização atual do CD para a localização sugerida neste estudo, é de 20,9 km.

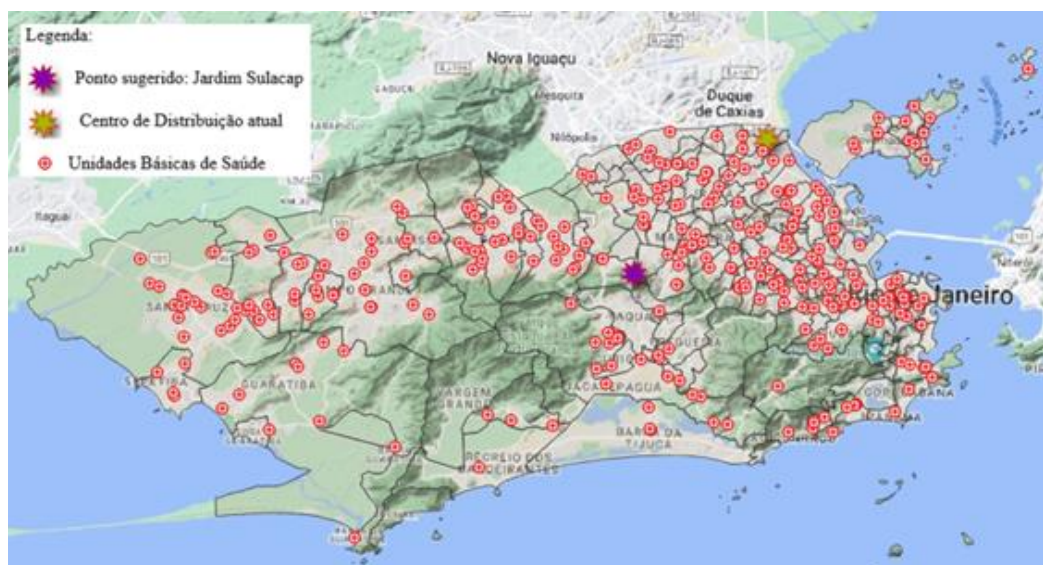


Figura 7: Localização sugerida do Centro de Distribuição

Fonte: Autores

### 3.2 Aplicação do suplemento *Solver*

Para aplicação do suplemento *Solver* foi necessário estabelecer alguns critérios com o objetivo de minimizar a distância total entre as Unidades Básicas de Saúde e o centro de distribuição. Dado que o intuito é validar a sugestão apontada pelo diagrama de Voronoi. Foi determinada a restrição de distância com base na diferença entre o novo ponto localizado em Jardim Sulacap e as UBSs localizadas nas extremidades do mapa do município do Rio de Janeiro, o que gerou a distância de 40km que foi convertida para 40000 metros visto que os dados consideram essa unidade.

Para as variáveis de decisão foram levantadas as coordenadas de todas as 343 Unidades Básicas de Saúde e aplicadas na função objetivo descrita conforme Equação 1:

$$\text{Min } \sum_{i=1}^{77} \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2} \quad (1)$$

onde  $X$ , coordenada do eixo  $X$  do Centro de Distribuição e  $Y$ , coordenada do eixo  $Y$  do Centro de Distribuição, são as variáveis de decisão.

Com a restrição de distância, a função objetivo pode ser descrita pela Equação 2:

$$\sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2} \leq 40000 \quad \forall i \in [1, 2, 3, \dots, 77] \quad (2)$$

Após a aplicação foi gerado um relatório que apontou um erro referente a quantidade limite de restrições que o suplemento *Solver* do *Microsoft Excel* suporta, limitando a apenas 100 restrições, fato que provocou a necessidade de aplicação de um filtro baseado nos 100 bairros que comportam o maior número de idosos, em razão da pesquisa utilizar esses dados como critério de avaliação. Esses 100 bairros principais resultaram em um número de 77 UBS, e essa quantidade se tornou o novo compilado de dados para aplicação do método.

Conforme demonstrado na Figura 8, os dados utilizados foram aplicados no Solver, o que originou um ponto de coordenada X equivalente a 674.349,71 e coordenada Y a 7.466.187,10. Esses pontos são as coordenadas geográficas no sistema UTM (metros) no plano cartesiano, que se referem ao bairro de Engenho de Dentro no município do Rio de Janeiro.

$$=(((C74-SCS81)^2)+((D74-SDS81)^2))^0,5$$

Localidade	X	Y	FX	Limite
GUARATIBA	649545	7454916	27245,39	40000,00
INHOAIBA	645210	7465692	29143,92	40000,00
COSMOS	643004	7467827	31388,58	40000,00
PACIENCIA	640981	7464236	33425,70	40000,00
SANTA CRUZ	639186	7468625	35248,12	40000,00
SEPETIBA	634714	7460754	40006,35	40000,00

<b>LOCALIZAÇÃO DO CENTRO</b>	<b>674349,71</b>	<b>7466187,10</b>
------------------------------	------------------	-------------------

<b>FUNÇÃO OBJETIVO</b>	<b>858813,45</b>	(Somatório FX)
------------------------	------------------	----------------

Figura 8: Demonstração da aplicação do suplemento *MS Excel Solver*.

Fonte: Autores.

Com base nos resultados do *Solver*, foi adicionado ao QGIS o ponto referente ao novo centro de distribuição. Conforme mostrado na Figura 9, ele está localizado no bairro Engenho de Dentro, tendo utilizado como material as 77 UBSs citadas, visto que a ferramenta limitou a pesquisa a essa margem. O resultado permitiu comparar o centro de distribuição atual com os dois gerados por meio da pesquisa. A distância do ponto resultante da aplicação do suplemento *Solver* para a localização do centro de distribuição atual foi de 18 km.

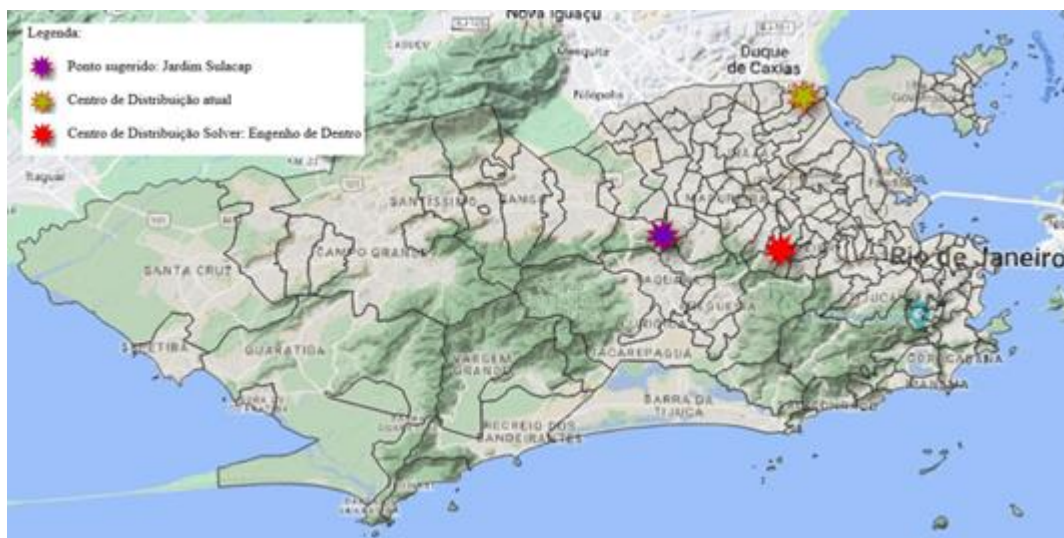


Figura 9: Comparação da localização do Centro de Distribuição atual com a localização do Centro de Distribuição proposto pelo *software MS Excel Solver*.

Fonte: Autores.

A utilização do suplemento *Solver* em conjunto com o método de coordenadas médias teve como objetivo a validação do ponto gerado pelo diagrama de Voronoi no *software* QGIS, no entanto, por conta de sua limitação em relação a quantidade de restrição, o ponto resultante divergiu da localização apontada a partir do método de

Voronoi, havendo uma distância de 13,4 km entre os dois pontos. Em todo caso, vale salientar a relevância na revisão da localização do ponto de distribuição atual.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo permitiu analisar como a utilização de métodos relacionados a problemas de localização podem auxiliar em uma melhor distribuição de vacinas no município do Rio de Janeiro. Os resultados da pesquisa trazem uma nova visão relacionada ao fato de que é válido haver uma reconsideração por parte do município estudado, a respeito da localização do Centro de Distribuição responsável pela distribuição das vacinas contra a COVID-19.

Os centros de distribuição exercem um papel fundamental e estratégico dentro do processo de distribuição de vacinas, visto que é atribuído a ele processos essenciais como o recebimento e conferência do material, estocagem e separação dos pedidos que, quando praticados com eficiência, afetam diretamente na otimização do processo. Uma localização estratégica afeta diretamente na agilidade e sucesso do processo de distribuição, podendo trazer benefícios como economia no frete, na manutenção dos veículos e na mão de obra.

A partir da aplicação do diagrama de Voronoi e do método de centro de gravidade obteve-se como resultado uma nova localização para o centro de distribuição de vacinas no município do Rio de Janeiro, esse resultado foi obtido considerando os termos espaciais. Como sugestão para um futuro desdobramento da pesquisa pode-se avaliar novas restrições como o custo logístico, quantidades de veículos direcionados para as entregas, gerenciamento de estoque e a aplicação de um problema de roteamento de veículos encontrando assim um conjunto de rotas ótimas a serem seguidas pela frota.

Algumas limitações foram encontradas durante a aplicação dos métodos utilizados no estudo, a principal delas foi a capacidade de processamento do *Solver* do *Microsoft Excel* que limitou a quantidade de restrições, gerando como consequências adaptações dentro do banco de dados aplicado no *software*. Outra questão observada foi nos resultados do Diagrama de Voronoi, que por utilizar como base o município do Rio de Janeiro que é composto por bairros que formam uma estrutura geográfica longitudinal, faz com que os polígonos que envolvem os bairros limítrofes ultrapassem o território do município, de mesmo modo que seus centroides.

Os resultados e análises da pesquisa evidenciam que houve a verificação de todos os pontos de atendimento para aplicação de vacinas dentro do município, realizando também o levantamento dos dados referente ao número de idosos e suas alocações. Com base nisso, foi avaliado onde seriam as maiores demandas e suas principais localizações. A partir dos dados e restrições aplicadas, os métodos resultaram em um novo local para o centro de distribuição a ser utilizado pelo município, sendo assim caso houvesse interesse do poder público em instalar e gerenciar um novo ponto de distribuição, a avaliação poderia ser iniciada a partir do ponto apresentado neste estudo.

#### REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Saúde detalha logística de distribuição de vacinas contra covid-19**. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2021-06/saude-detalha-logistica-de-distribuicao-de-vacinas-contracovid-19>>. Acesso em: 02 ago. 2022.

AQUINO, Estela ML *et al.* **Medidas de distanciamento social no controle da pandemia de COVID-19: potenciais impactos e desafios no Brasil**. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 25, n. supl. 1, p. 2423-2446, 2020.

ARBACHE *et al.* **Gestão de logística, distribuição e trade marketing. 4. ed.** Rio de Janeiro: Editora FGV, 2011.

ARENALES, M. **Pesquisa operacional. 2 ed.** Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2015.

AURENHAMMER, F. & EDELSBRUNNER, H., 1984. An optimal algorithm for constructing the weighted Voronoi diagram in the plane. *Pattern Recognition*, 17:251-257.

BASTCHEN, Gustavo *et al.* **Método de apoio a tomada de decisão dentre múltiplas alternativas considerando fatores de risco no contexto de uma mudança de engenharia.** 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

BERG, Mark *et al.* **Computational geometry: introduction. Computational geometry: algorithms and applications**, p. 1-17, 2008.

BOOTS, Barry *et al.* **Spatial tessellations: concepts and applications of Voronoi diagrams.** 2009.

CASTRO, Rosana. **Vacinas contra a Covid-19: o fim da pandemia?** Physis: Revista de Saúde Coletiva, v. 31, p. e310100, 2021.

DA COSTA, Rafael Chagas Soares *et al.* **A utilização da ferramenta solver do microsoft excel na elaboração de uma carteira de investimentos diversificada.** Brazilian Journal of Development, v. 5, n. 12, p. 29097-29109, 2019.

DE SOUZA ESPINDOLA, Rebeca Rebouças Prisco; LOPES, Camila Papa. **Breve Análise das Operações de Logística Integrada da Vacina para Covid-19 no Brasil.** 2021

DIEFENTHALER, Andressa Tais. **Modelagem Matemática de Linhas de Transmissão Baseada em Dados Reais da Rede de Distribuição Primária de Energia Elétrica.** 2019.

DOMINGUES, Carla Magda Allan Santos. **Desafios para a realização da campanha de vacinação contra a COVID-19 no Brasil.** Cadernos de Saúde Pública, v. 37, 2021.

DUARTE, Patrícia Costa. **Desenvolvimento de uma mapa estratégico para apoiar a implantação de uma plataforma logística.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

FELTRIM *et al.* **Uma Revisão Bibliográfica Sobre a Estruturação de Textos Científicos em português.** Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

FIGURSKA, Marta; DAWIDOWICZ, Agnieszka; ZYSK, Elżbieta. **Diagramas de Voronoi para cidades amigas da terceira idade.** Revista Internacional de Pesquisa Ambiental e Saúde Pública, v. 19, n. 12, pág. 7447, 2022.

FLECK, Ernesto Marchioni. **Agrupamento e visualização de dados sísmicos através de quantização vetorial. 2004.** Tese de Doutorado. PUC-Rio.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional. 9 ed.** Porto Alegre: AMGH, 2013.

JACOBSON, Sheldon H.; SEWELL, Edward C.; PROANO, Ruben A. **An analysis of the pediatric vaccine supply shortage problem.** *Health Care Management Science*, v. 9, n. 4, p. 371-389, 2006.

JACOBSON, Sheldon H.; SEWELL, Edward C.; JOKELA, Janet A. **Survey of vaccine distribution and delivery issues in the USA: from pediatrics to pandemics.** *Expert review of vaccines*, v. 6, n. 6, p. 981-990, 2007

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional: Na tomada de decisões.** 4 ed. São Paulo: Prentice Hall Brasil, 2009.

LISBOA, Erico Fagundes Anicet. **Pesquisa operacional. Apostila da disciplina.** Rio de Janeiro–RJ, 2002.

MARREIROS, Emerson Charles do Nascimento *et al.* **Cálculo computacional da fronteira do diagrama de Voronoi com dois sítios e um obstáculo circular.** Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021.

MAPA, Sílvia Maria Santana; LIMA, Renato da Silva. **Uso combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações.** *Gestão & Produção*, v. 19, p. 119-136, 2012.

MONTEIRO, Elton Andrade. **Pesquisa operacional aplicada à logística.** Anais do VIII SIMPROD, 2016.

MOURA, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano.** Editora Interciência, 2014.

NOGUEIRA, Christiane Wenck; GONÇALVES, Mirian Buss; NOVAES, Antônio Galvão. **Logística humanitária e logística empresarial: relações, conceitos e desafios.** In: Anais do XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Rio de Janeiro. 2007.

NOVAES, Antonio Galvão. **Resolução de Problemas de Transporte com Diagramas de Voronoi.** XXI ANPET, Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes, 2007.

NOVAES, Antonio Galvão. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição.** RJ, Elsevier, 2007.

OKABE, A. et al. **Spatial Tessellations: Concepts and Applications of Voronoi Diagrams.** Wiley, 2009.

PAGANELLI, M. E. V.; GEORGES, M. R. R.; DA SILVA, G. S. **Lablog: Aplicação do Método do Centro de Gravidade para Decisão da Localização de um Centro de Distribuição.** Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2021.

PEREIRA, Mara Dantas et al. **A pandemia de COVID-19, o isolamento social, consequências na saúde mental e estratégias de enfrentamento: uma revisão integrativa.** *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, p. e652974548-e652974548, 2020.

PORTELA, José do Nascimento. **Planejamento celular usando diagramas de Voronoi.** Universidade Federal de Campina Grande, 2006.

RASTEGAR, Mehdi et al. **An inventory-location optimization model for equitable influenza vaccine distribution in developing countries during the COVID-19 pandemic.** *Vaccine*, v. 39, n. 3, p. 495-504, 2021.

REHFELDT, Márcia Jussara Hepp. **Estudo da viabilidade dos usos da pesquisa operacional em uma vinícola da Serra Gaúcha.** DIÁLOGO, Canoas, n.28, p. 147-164, abr. 2015. / ISSN 2238-9024.

REZENDE, Flavio Astolpho Vieira Souto; ALMEIDA, Renan M. Varnier; NOBRE, Flavio F. **Diagramas de Voronoi para a definição de áreas de abrangência de hospitais públicos no Município do Rio de Janeiro.** Cadernos de Saúde Pública, v. 16, p. 467-475, 2000.

SANTOS, Paula Roberta Scaburi dos *et al.* **Diagrama de Voronoi: uma exploração nas distâncias euclidiana e do táxi.** 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SENHORAS, Elói Martins. **O campo de poder das vacinas na pandemia da Covid-19.** Boletim de conjuntura (BOCA), v. 6, n. 18, p. 110-121, 2021.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4. ed.** Florianópolis: UFSC, p. 138, 2005.

SOBRAPO. **O que é Pesquisa Operacional?** Disponível em: <<https://www.sobrapo.org.br/o-que-e-pesquisa-operacional>>. Acesso em: 03 ago. 2022.

WERNECK, Guilherme Loureiro; CARVALHO, Marília Sá. **A pandemia de COVID-19 no Brasil: crônica de uma crise sanitária anunciada.** Cadernos de Saúde Pública, v. 36, p. e00068820, 2020.