

“As (novas) perspectivas da segurança pública a partir da utilização da Engenharia de Produção.”
Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil – 25 a 27 de Maio de 2022.

TRAVELLING SALESMAN PROBLEM APLICADO EM UMA REDE HOSPITALAR PARA A DISTRIBUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL DURANTE A PANDEMIA DA COVID-19

Hudson Hübner de Souza (UFF) hudson.hubner@gmail.com

Pedro Soares Souza (UFF) pedrosoaressouza@id.uff.br

Wesley do Canto Souza (UFF) wesleycanto@id.uff.br

Resumo

O cenário pandêmico da COVID-19 causou um grande impacto aos sistemas de saúde em escala global, de forma a gerar a necessidade da criação de estratégias de compras e abastecimento para que não falte os insumos básicos nos hospitais. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo propor um modelo matemático que minimize a rota de distribuição de EPI's em uma rede de hospitais do estado do Rio de Janeiro. Os dados referentes à localização das unidades hospitalares foram levantados junto à empresa e a otimização da rota foi obtida como resultado da aplicação do Problema do Caixeiro Viajante. O caminho ótimo encontrado caracteriza o menor trajeto de um caminhão partindo de um centro de distribuição e descarregando os EPI's por cada um dos 11 hospitais da rede. A resolução do problema de roteirização foi facilitada pelo suplemento do *software Microsoft Excel*, denominado *Solver*.

Palavras-Chaves: otimização de rota; problema do caixeiro viajante; logística hospitalar.

1. Introdução

A pandemia do novo Coronavírus (COVID-19) foi reconhecida em declaração oficial do Diretor Geral da Organização Mundial da Saúde (2020), gerou sobrecarga nos sistemas de saúde em escala global e representa o maior desafio para a saúde pública das últimas décadas (RASMUSSEN & KOELING, 2020).

Kawashima et al. (2020) defende que o avanço da doença caracterizada por uma grave síndrome respiratória fez com que os governantes adotassem uma série de medidas preventivas, tais como: distanciamento social; maior frequência da higienização das mãos; teletrabalho; aumento do uso e descarte de Equipamentos de Proteção de Individual (EPI's) por grande parte da

população mundial, especialmente nas unidades hospitalares, que representam a linha de frente no combate à doença.

Em função do aumento do consumo de EPI's em unidades hospitalares, a necessidade de adquirir máscaras, luvas e aventais descartáveis tem se elevado consideravelmente e, por consequência, a capacidade de produção dos fabricantes tem sido pressionada e afetada, de forma a comprometer a Cadeia Global de Suprimentos. O aumento dessa demanda, que para alguns itens teve um aumento na ordem de cem vezes, ocasionou não somente a escassez dos insumos, mas também o aumento dos preços variou de 40% a 90%, afetando toda a operação e custos nos sistemas de saúde segundo a UNICEF (2020).

Este artigo apresenta a seguinte estrutura: a Seção 2 apresenta a contextualização do estudo e o problema abordado. A Seção 3 apresenta o referencial teórico da pesquisa. A Seção 4 apresenta a conceituação e a formulação matemática do Problema do Caixeiro Viajante. A Seção 5 apresenta a metodologia utilizada para estruturar a pesquisa científica. A Seção 6 apresenta o estudo de caso referente à Rede Hospitalar em análise neste trabalho. A Seção 7 apresenta a discussão dos resultados obtidos através da modelagem matemática. A Seção 8 apresenta as conclusões e considerações finais sobre o estudo.

2. Contextualização e objetivos do estudo

Nesse contexto, o presente estudo visa analisar o processo de distribuição de EPI's de uma organização por suas 11 unidades hospitalares no Estado do Rio de Janeiro cuja armazenagem é feita em um Centro de Distribuição (CDD). Por questões de confidencialidade, o nome da rede hospitalar e o endereço de suas unidades de saúde não serão reveladas na pesquisa.

O estudo modela o problema com o objetivo de minimizar a rota do transporte de distribuição de EPI's pelas 11 unidades da empresa hospitalar em apenas uma viagem. Para isso, será utilizado um problema clássico da literatura de programação matemática NP-difícil, conhecido como o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), segundo Goldberg e Luna (2005). A pesquisa possui como objetivo principal apresentar a modelagem do problema proposto e levar o resultado do caminho ótimo para resolver o problema evidenciado na rede hospitalar em análise neste trabalho científico, isto é, desenvolver um modelo que indique a sequência de distribuição nos locais planejados percorrendo o menor caminho possível.

Este artigo pretende contribuir com o fortalecimento do Problema do Caixeiro Viajante como uma proposta robusta na resolução de problemas de roteirização, assim como defender a

aplicação do uso do *Solver* do *Microsoft Excel* como uma importante ferramenta de apoio na resolução de problemas desse tipo.

3. Referencial teórico

Porfírio et al. (2018) apresenta um estudo sobre a aplicação do Problema do Caixeiro Viajante ao sistema de entregas em um restaurante, que justifica a pesquisa pela necessidade de inovações para manutenção das empresas perante à concorrência. Carvalho, Golbarg & Goldbarg (2021) desenvolveram uma pesquisa sobre o Problema do Caixeiro Viajante em um contexto do transporte de pessoas e mercadorias, havendo a possibilidade de o transporte ser realizado ou não em determinadas regiões.

Gonçalves, Canal & Canal (2019) aplicaram o Problema do Caixeiro Viajante no setor varejista, utilizando heurística com previsão de demanda, tendo como resultado a redução de 6,1% das distâncias percorridas. Taufer & Pereira (2011) encontraram o roteiro ótimo para o transporte de mercadorias entre cidades do estado do Rio Grande do Sul como resultado da aplicação do Problema do Caixeiro Viajante.

Palhares & de Araújo (2019) elaboraram uma roteirização de veículos em uma distribuidora de laticínios a partir do Problema do Caixeiro Viajante. Ferreira (2020) elaborou um estudo de otimização de rotas em uma concessionária de energia elétrica.

Tendo em vista tantas aplicações diferentes para o Problema do Caixeiro Viajante, é possível afirmar que se trata de uma ferramenta poderosa na resolução de problemas de roteirização, de maneira a justificar a escolha dessa perspectiva para resolver o problema logístico no contexto vivenciado pela rede hospitalar apresentada neste estudo.

4. Problema do Caixeiro Viajante

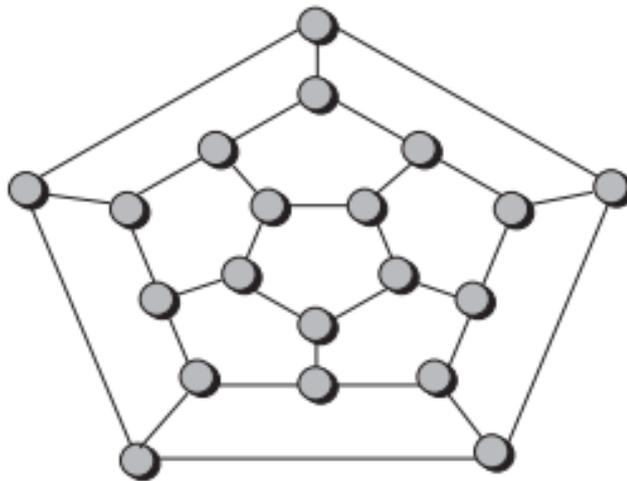
4.1 Caracterização do problema

Segundo Goldbarg e Luna (2005), o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), é um dos mais tradicionais e conhecidos problemas de programação matemática. Este problema pode ser classificado como problema de roteamento, que em sua maioria, lida com passeios sobre pontos de oferta ou demanda. Esses pontos podem ser representados por cidades, postos de trabalho, depósitos, etc. Dentre os tipos de passeios, um dos mais importantes é o denominado *hamiltoniano*, em homenagem a Willian R. Hamilton (1857), que propôs um jogo chamado *Around the World*. O objetivo do jogo era encontrar um roteiro, através dos vértices do

dodecaedro, que iniciasse e terminasse em uma mesma cidade, sem nunca repetir uma visita. Uma solução deste jogo, em sua homenagem, passou a denominar-se um ciclo *hamiltoniano*.

Associando o jogo de Hamilton a um grafo $G = (N, E)$, onde $N = \{1, \dots, n\}$ é o conjunto de nós, $E = \{1, \dots, m\}$ é o conjunto de arestas de G , e c_{ij} equivale aos custos associados com cada aresta ligando os vértices i e j , o problema consiste em localizar o menor ciclo *hamiltoniano* do grafo G . Os nós do grafo são referentes às cidades e o objetivo consiste em visitar todas as cidades passando apenas uma vez por cada cidade, retornando ao ponto de origem, formando uma rede, como ilustrado na Figura 1. Este percurso deve ser feito de forma a minimizar a distância total percorrida.

Figura 1 - Figura de Hamilton



Fonte: Adaptado de Goldbarg e Luna (2000)

De acordo com Goldbarg e Luna (2000), a primeira menção conhecida do problema do caixeiro viajante é devida a Hassler Whitney (1934), em um trabalho na Universidade de Princeton. Independente desse trabalho de Hamilton, o problema do caixeiro viajante (PCV) é um problema de otimização associado ao da determinação dos ciclos hamiltonianos em um grafo qualquer. O objetivo do PCV é encontrar, em um grafo $G = (N, A)$, o caminho *hamiltoniano* de menor custo.

Como exemplo de aplicação do PCV, temos o trabalho de Queiroz et al. (2021), que tinha como objetivo encontrar um caminho ótimo para as rotas de trabalho nos dias de recebimento de pagamento da empresa estudada, o PCV foi utilizado para obtenção da menor distância entre a casa da microempreendedora e os locais de venda, visando percorrer apenas uma vez por cada ponto e retornar para a casa da mesma ao final da trajetória.

Rodrigues Junior, Santos e Carvalho (2017) fizeram uma proposta de utilização do Problema do Caixeiro Viajante para Base de Abastecimento da Marinha no Rio de Janeiro, a partir de uma *clusterização* de 14 áreas na região metropolitana do Rio de Janeiro.

4.2 Formulação matemática

Para o PCV existem diversas formulações matemáticas como apresentado por Goldberg e Luna (2005), Dantzig et al. (1954), Miller et al. (1960), Fox et al. (1980), Crowder e Padberg (1980). No presente artigo será utilizada a formulação de Dantzig, Fulkerson e Johnson (1954), visto que a mesma é frequentemente utilizada na literatura, pois apresenta modos peculiares para a caracterização do problema e, também, por ser de fácil compreensão.

Sendo $G(N, A)$ o grafo do problema, o modelo é dado pelas equações da Figura 2.

Figura 2 - Modelo matemático do Problema do Caixeiro Viajante

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

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset N \quad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N \quad (4)$$

Fonte: Goldberg & Luna (2000)

Onde:

- c_{ij} : Custo de ir do hospital i ao hospital j (distância);
- $x_{ij} = 1$, se arco $(i, j) \in A$, ou seja, for escolhido o caminho do hospital i até ao hospital j para integrar a solução;
- $x_{ij} = 0$, caso contrário;
- S : é um subgrafo de G ;
- S : números de vértices do subgrafo S .

As restrições enumeradas na Figura 2, indicadas por (1), determinam que o fluxo de chegada em cada cidade j deve ser 1. As restrições indicadas por (2) determinam que o fluxo de saída

de cada cidade j deve ser 1. As restrições indicadas por (3) impõem a eliminação de circuitos *pré-hamiltonianos*, ou seja, evitam subciclos. As restrições indicadas por (4) determinam que as variáveis sejam binárias, ou seja, podem assumir apenas os valores 0 ou 1.

Essa formulação destaca um importante aspecto do Problema do Caixeiro Viajante que é sua natureza combinatória. Pela formulação fica claro que solucionar um problema deste tipo é determinar uma certa permutação legal de custo mínimo.

5. Metodologia

Este trabalho pode ser classificado como de natureza aplicada, porque busca gerar novos conhecimentos por meio da aplicação prática do PCV em estudos de rotas para logística hospitalar. Quanto ao procedimento da pesquisa, o trabalho caracteriza-se por um estudo de caso, utilizando-se de múltiplas fontes de dados e tomando-se como unidade de análise um centro de distribuição de um complexo hospitalar localizado no Rio de Janeiro (YIN, 2001).

Em relação à pesquisa bibliográfica, com o objetivo de uma identificação e uso das melhores fontes para a revisão de literatura, foram consultadas as bases de dados *Google Scholar*, *Scopus*, *Scielo* e *Web of Science*, para busca de mais artigos aderentes ao tema do trabalho. Os termos utilizados para a busca foram *Salesman Travelling Problem*, *STP*, *Hospital Logistics* e *Vehicle Routing Problem*.

O desenvolvimento do estudo pode ser descrito pelos passos abaixo:

- Estudo de artigos acadêmicos obtidos na pesquisa bibliográfica;
- Levantamento das unidades hospitalares atendidas pelo CD;
- Levantamento das distâncias entre cada unidade hospitalar e o CD através do site *Google Maps*.
- Desenvolvimento do Grafo do Estudo no *Software Gephi*;
- Otimização da rota com o *Solver* do *Excel*.

6. Estudo de caso

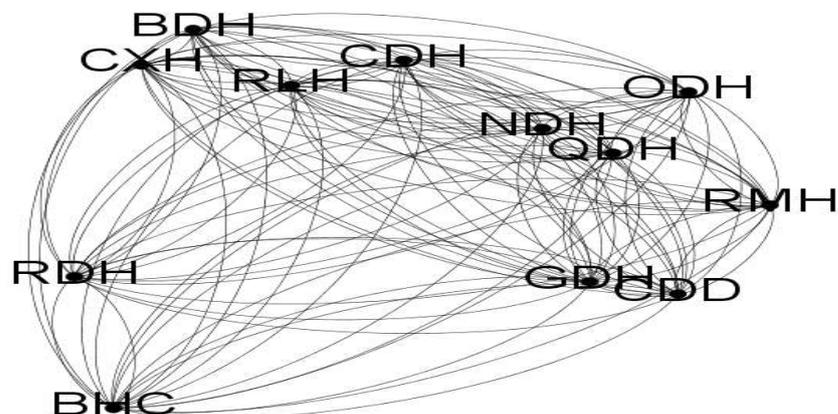
O presente estudo ocorre em uma rede hospitalar, com sede na cidade do Rio de Janeiro, que necessita realizar a entrega de EPI's para 11 localidades do estado do Rio de Janeiro. Com o aumento do uso de EPI's devido à pandemia da COVID-19, a demanda de armazenamento nos almoxarifados locais em sua totalidade tornou-se inviável, já que os espaços não haviam sido projetados fisicamente para a demanda que se fez necessária. Tão logo, a Diretoria de

Suprimentos decidiu direcionar a armazenagem de uma série de EPI's para um Centro de Distribuição localizado no bairro de Jacarepaguá, na cidade do Rio de Janeiro, e assim garantir o suprimento semanal desses EPI's, como aventais, máscaras e luvas descartáveis.

A operação acontece da seguinte forma: o setor de Planejamento solicita ao setor de Compras a aquisição dos itens aos fornecedores baseado na demanda e *Lead Time* de cada item. E a posterior entrega dos EPI's é realizada no CD, que todas quintas-feiras faz a distribuição em um transporte único para todas as unidades hospitalares baseado na capacidade física de cada almoxarifado. Após realizar a distribuição, o caminhão deverá retornar ao centro de distribuição. Assim, o problema consiste em propor um roteiro de viagem, que inicie e finalize no CD da rede hospitalar, com o intuito de percorrer, através do caminho mais curto, os 11 hospitais onde as entregas deverão ser feitas.

Considerando o grafo $G(N, A)$, onde N é o conjunto de nós de G , que representam os 11 hospitais e 1 CD, e A o conjunto dos arcos de G , que corresponde à ligação existente entre duas localidades, os arcos são os roteiros de menor distância entre os hospitais considerados. Os custos dos arcos são considerados as distâncias mínimas (em km) existentes entre os hospitais foram obtidas pelo *Google Maps*.

Figura 3 - Grafo da Rede Hospitalar



Fonte: Autores (2021)

As iterações representadas no grafo da Figura 3 representam os possíveis caminhos para o roteamento, cujos dados sofreram tratamento e análise através da utilização do *software MS Excel* em sua versão 2013, seguindo os passos utilizados por Porfírio et al. (2018), em que esta ferramenta computacional permitiu a análise eficiente dos dados e a confecção do grafo e tabelas presentes neste artigo, assim como o suplemento *Solver*, utilizado para testes de hipóteses. De acordo com a *Microsoft*, este suplemento trabalha sobre um grupo determinado

de células denominadas “variáveis”, ajustando-as para obter-se o melhor resultado na célula objetivo e atender às restrições inseridas. Essa ferramenta pode ser utilizada para minimizar ou maximizar um resultado, conforme a fórmula inserida na célula objetivo.

Para a aplicação do *Solver* foi considerado como ponto inicial e final o centro de distribuição, pois o mesmo é o ponto de partida de todas as rotas de entrega. Partindo do ponto central foi determinada a rota a ser percorrida pelo entregador de maneira a abastecer todos os hospitais sem que os pontos se repitam e ao final da entrega retorne a origem.

Para a definição da melhor rota através do *solver*, foi necessário a criação de uma matriz de distâncias entre estes hospitais, considerando o CD como saída/retorno da rota. Essas distâncias foram extraídas através da ferramenta *Google Maps* e estão expressas na Figura 4.

Figura 4 - Matriz de distâncias

| De/Para | X | BDH | BHC | CDH | CXH | NDH | ODH | QDH | RDH | RLH | RMH | GDH | CDD |
|---------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| BDH | 1 | | 26.2 | 25 | 39.3 | 22.3 | 38.2 | 32 | 10.9 | 28.1 | 6.8 | 30.3 | 12.8 |
| BHC | 2 | 20.7 | | 44.7 | 24.1 | 14.7 | 14.4 | 37.3 | 14.4 | 0.45 | 26 | 41.7 | 14.4 |
| CDH | 3 | 24.6 | 46.5 | | 26.2 | 28.8 | 58.3 | 10.8 | 32.1 | 43.1 | 26.2 | 7.1 | 31.1 |
| CXH | 4 | 32.6 | 23.4 | 26.8 | | 17.1 | 37.6 | 19 | 32.5 | 23.7 | 36.9 | 24.6 | 29.1 |
| NDH | 5 | 16.3 | 16.4 | 26.6 | 15.4 | | 29.7 | 13.4 | 15.4 | 16.5 | 22.7 | 19.9 | 10.6 |
| ODH | 6 | 38.3 | 12.5 | 58.8 | 38.1 | 31.4 | | 46.3 | 30.9 | 12.6 | 32.4 | 56.4 | 7.3 |
| QDH | 7 | 24.1 | 35 | 11.4 | 17 | 16.7 | 49.3 | | 15.7 | 35.3 | 30.4 | 7.9 | 29.6 |
| RDH | 8 | 7.8 | 12.5 | 24.9 | 27 | 11.7 | 32.5 | 16.5 | | 19.5 | 14.1 | 21.5 | 7.3 |
| RLH | 9 | 22.1 | 0.4 | 42.3 | 24.5 | 15.2 | 14.9 | 37.8 | 18.8 | | 26.5 | 42.8 | 14.9 |
| RMH | 10 | 8.4 | 27.2 | 27.3 | 38.4 | 22.7 | 32.4 | 32 | 14.9 | 27.5 | | 32.6 | 15.2 |
| GDH | 11 | 35.8 | 43.5 | 7.6 | 25 | 27 | 57.7 | 9 | 30.8 | 43.7 | 31.5 | | 37.3 |
| CDD | 12 | 7.5 | 17.8 | 32.6 | 33.2 | 11 | 8.4 | 24 | 8.4 | 18.1 | 13.8 | 36.6 | |

Fonte: Autores (2021)

Uma segunda matriz foi criada, conforme ilustrado na Figura 5, onde será informado a rota escolhida (a rota é expressa considerando a coluna x linha, e é expresso pelo algarismo numérico “1”). A restrição incluída na aplicação do *solver* é que o somatório das colunas e o somatório das linhas não seja maior que “1”, isso garante que aquele trajeto só será feito uma única vez. O somatório das linhas e colunas foi realizado através da função “SOMA”.

Figura 5 - Matriz De x Para

fx =SUM(F22:F33)

| De/Para | X | BDH | BHC | CDH | CXH | NDH | ODH | QDH | RDH | RLH | RMH | GDH | CDD | SOMA |
|---------|----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| BDH | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| BHC | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CDH | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| CXH | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NDH | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ODH | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| QDH | 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RDH | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RLH | 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RMH | 10 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GDH | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CDD | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SOMA | | (F22:F33) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Fonte: Autores (2021)

Uma terceira matriz foi criada, para garantir que a rota saia do primeiro entroncamento (ou nó), garantindo a equalização do sistema. Ela funciona através da subtração do somatório da coluna e o somatório da linha do entroncamento selecionado. A matriz criada e formulação aplicada podem ser vistas na Figura 6.

Figura 6 - Matriz de Equalização do Sistema

fx =SUM(F39:F50)-SUM(F39:Q39)

| | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R |
|------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| QDH | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| RDH | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| RLH | 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| RMH | 10 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| GDH | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| CDD | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| SOMA | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

| De/Para | Y | BDH | BHC | CDH | CXH | NDH | ODH | QDH | RDH | RLH | RMH | GDH | CDD |
|---------|----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| BDH | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 |
| BHC | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CDH | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 |
| CXH | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NDH | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ODH | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| QDH | 7 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RDH | 8 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RLH | 9 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RMH | 10 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GDH | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CDD | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SOMA | | (F39:F50) - SU | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -11 |

Fonte: Autores (2021)

Uma quarta matriz foi montada, conforme mostrado na Figura 7, e os valores presentes em cada célula são obtidos através da multiplicação de seu equivalente na matriz 2 pelo número máximo de nós trabalhados.

Figura 7 - Matriz da Rota Selecionada

fx =G24*MAX(SES22;SE\$33)

| Def/Para | X | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | SOMA |
|----------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------|
| BDH | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| BHC | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| CDH | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| CXH | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| NDH | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ODH | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| QDH | 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| RDH | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| RLH | 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| RMH | 10 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| GDH | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| CDD | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| SOMA | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |

| Def/Para | Y | BDH | BHC | CDH | CXH | NDH | ODH | QDH | RDH | RLH | RMH | GDH | CDD |
|----------|----|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| BDH | 1 | 0 | 0 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| BHC | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CDH | 3 | 0 | =G24*MA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 |
| CXH | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NDH | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 |
| ODH | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 |
| QDH | 7 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RDH | 8 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RLH | 9 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| RMH | 10 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GDH | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CDD | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fonte: Autores (2021)

A função objetivo desejada visa obter a menor distância do trajeto. Para isso, executa-se a função “SOMARPRODUTO” entre a matriz de distâncias (Matriz 1) e a matriz “DE” - “PARA” (Matriz 2), como é possível visualizar na Figura 8.

Figura 8 - Função Objetivo

SUM =SUMPRODUCT(F6:Q17,F22:Q33)

SUMPRODUCT(array1, [array2], [array3], [array4], ...)

Distancia minima entre os nós

| Def/Para | X | BDH | BHC | CDH | CXH | NDH | ODH | QDH | RDH | RLH | RMH | GDH | CDD |
|----------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| BDH | 1 | | 26.2 | 25 | 39.3 | 22.3 | 38.2 | 32 | 10.9 | 28.1 | 6.8 | 30.3 | 12.8 |
| BHC | 2 | 20.7 | | 44.7 | 24.1 | 14.7 | 14.4 | 37.3 | 14.4 | 0.45 | 26 | 41.7 | 14.4 |
| CDH | 3 | 24.6 | 46.5 | | 26.2 | 28.8 | 58.3 | 10.8 | 32.1 | 43.1 | 26.2 | 7.1 | 31.1 |
| CXH | 4 | 32.6 | 23.4 | 26.8 | | 17.1 | 37.6 | 19 | 32.5 | 23.7 | 36.9 | 24.6 | 29.1 |
| NDH | 5 | 16.3 | 16.4 | 26.6 | 15.4 | | 29.7 | 13.4 | 15.4 | 16.5 | 22.7 | 19.9 | 10.6 |
| ODH | 6 | 38.3 | 12.5 | 58.8 | 38.1 | 31.4 | | 46.3 | 30.9 | 12.6 | 32.4 | 56.4 | 7.3 |
| QDH | 7 | 24.1 | 35 | 11.4 | 17 | 16.7 | 49.3 | | 15.7 | 35.3 | 30.4 | 7.9 | 29.6 |
| RDH | 8 | 7.8 | 12.5 | 24.9 | 27 | 11.7 | 32.5 | 16.5 | | 19.5 | 14.1 | 21.5 | 7.3 |
| RLH | 9 | 22.1 | 0.4 | 42.3 | 24.5 | 15.2 | 14.9 | 37.8 | 18.8 | | 26.5 | 42.8 | 14.9 |
| RMH | 10 | 8.4 | 27.2 | 27.3 | 38.4 | 22.7 | 32.4 | 32 | 14.9 | 27.5 | | 32.6 | 15.2 |
| GDH | 11 | 35.8 | 43.5 | 7.6 | 25 | 27 | 57.7 | 9 | 30.8 | 43.7 | 31.5 | | 37.3 |
| CDD | 12 | 7.5 | 17.8 | 32.6 | 33.2 | 11 | 8.4 | 24 | 8.4 | 18.1 | 13.8 | 36.6 | |

Variáveis

| Def/Para | X | BDH | BHC | CDH | CXH | NDH | ODH | QDH | RDH | RLH | RMH | GDH | CDD | SOMA |
|----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| BDH | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| BHC | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| CDH | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| CXH | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| NDH | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ODH | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| QDH | 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| RDH | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| RLH | 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| RMH | 10 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| GDH | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| CDD | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| SOMA | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |

Resolução do Problema

FO =SUM

Fonte: Autores (2021)

Para a configuração do *solver*, os seguintes parâmetros foram configurados:

- Definir objetivo: Função objetivo =SOMARPRODUTO;
- Alterando células variáveis: Células das matrizes 2 e 3.

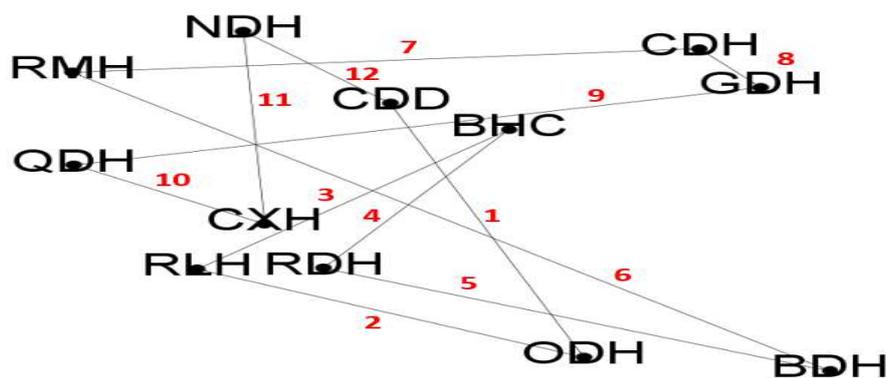
Restrições aplicadas ao *solver*:

- Somatório de cada linha da matriz 2 seja igual a 1;
- Somatório de cada coluna da matriz 2 seja igual a 1;
- Matriz 3 receba apenas números inteiros;
- Somatório de cada coluna da Matriz 3, com exceção de CD x CD, sejam iguais a 1;
- Matriz 3 menor ou igual a matriz 4;
- Método LP Simples deve ser selecionado, e o *solver* está configurado.

7. Análise dos resultados

O programa encontrou um roteiro ótimo passando pelos nós 12-6-9-2-8-1-10-3-11-7-4-5-12. Assim, como proposto, o percurso se inicia e termina no Centro de Distribuição da rede, este é o roteiro a ser realizado pelo caminhão para entrega de medicamentos: CDD - ODH - RLH - BHC - RDH - BDH - RMH - CDH - GDH - QDH - CXH - NDH - CDD. Este roteiro, o qual pode ser visualizado na Figura 9, corresponde ao trajeto de menor distância para percorrer as 12 localidades, sem passar duas vezes pelo mesmo hospital em um total de 138,5 quilômetros.

Figura 9 - Roteiro Ótimo



Fonte: Autores (2021)

8. Conclusões finais

O presente estudo atingiu o objetivo de propor, através da modelagem matemática do problema de roteirização utilizando o *MS Excel*, encontrar a menor rota possível para a distribuição de EPI's pelos 11 hospitais da organização na qual o estudo abrange.

Vale ressaltar que o modelo formulado pode ser aplicado mesmo com a exclusão ou posterior inclusão de alguma unidade hospitalar na rota do caminhão em caso de necessidade. Como mencionado, diante do aumento do custo operacional dos hospitais com a pandemia, é de suma importância que os hospitais busquem a redução de desperdícios e a solução proposta contribui para este objetivo.

Como oportunidades para futuras abordagens do presente trabalho, podem ser levantados tanto a rota até então utilizada pela operação quanto os custos da mesma para comparação e cálculo de *saving*. Assim como uma modelagem matemática mais abrangente do problema, incluindo uma possível restrição de janelas de tempo, locais de parada para almoço, assim como a capacidade do veículo utilizado. Podendo também ser utilizado para futuros trabalhos a aplicação do modelo em outros *softwares* de otimização.

REFERÊNCIAS

CROWDER, Harlan; PADBERG, Manfred W. Solving large-scale symmetric travelling salesman problems to optimality. **Management Science**, v. 26, n. 5, p. 495-509, 1980.

DA SILVA, Rafael Mozart. Os impactos da pandemia do COVID-19 na cadeia de suprimentos e atividades logísticas: contribuições e insights teóricos. **INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation**, v. 9, n. 1, p. 448-467, 2021.

DANTZIG, George; FULKERSON, Ray; JOHNSON, Selmer. Solution of a large-scale traveling-salesman problem. **Journal of the Operations Research Society of America**, v. 2, n. 4, p. 393-410, 1954.

DE CARVALHO, Allan Vilar; GOLDBARG, Marco César; GOLDBARG, Elizabeth Ferreira Gouvêa. O problema do Caixeiro Viajante com Vários Passageiros, Cota de Bônus Opcional e Tempo. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 20493-20514, 2021.

FERREIRA, Ivanilda Agostinho. Caixeiro Viajante: Aplicação da Modelagem Matemática na Otimização de Rotas em uma Concessionária de Energia Elétrica. **Produção Online**, v. 20, n. 1, p. 221-246, 2020.

FOX, Kenneth R.; GAVISH, Bezalel; GRAVES, Stephen C. An n-constraint formulation of the (time-dependent) traveling salesman problem. **Operations Research**, v. 28, n. 4, p. 1018-1021, 1980.

GOVERNO FEDERAL. **OMS classifica coronavírus como pandemia**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/saude-e-vigilancia-sanitaria/2020/03/oms-classifica-coronavirus-como-pandemia>. Acesso em 13 fevereiro. 2021.

GOLDBARG, Marco César; LUNA, Henrique Pacca L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GONÇALVES, Wellington; CANAL, Hilson Henrique Massucatti; CANAL, Mauro Henrique Massucatti. Resolução do Problema do Caixeiro Viajante no Setor Varejista usando Heurística com Previsão de Trajetória. **Revista Desafios**, v. 7, n. 3, 2020.

KAWASHIMA, T.; NOMURA, S.; TANOUE, Y.; YONEOKA, D.; EGUCHI, A.; SHI, S.; MIYATA, H. The relationship between fever rate and telework implementation as a social distancing measure against the COVID-19 pandemic in Japan. **Public Health**, 2020.

MILLER, Clair E.; TUCKER, Albert W.; ZEMLIN, Richard A. Integer programming formulation of traveling salesman problems. **Journal of the ACM (JACM)**, v. 7, n. 4, p. 326-329, 1960.

PALHARES, Rafael de Azevedo; PALHARES, Rodolfo de Azevedo; DE ARAÚJO, Maria Creuza Borges. Roteirização de Veículos: Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante em uma Distribuidora de Laticínios. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 11, n. 2, p. 105-126, 2019.

PORFÍRIO, Vitor Hugo Martins; MARIQUITO, João Vitor Machado; SILVA, Lethícia de Almeida Garcia; NAZARÉ, Thiago Bittencourt. O problema do caixeiro viajante aplicado ao grupo crítico do sistema de entregas de um restaurante. **XI Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial**, Campo Mourão, Paraná, 2018.

RASMUSSEN T.E. e KOELLING E.E. A military perspective on the vascular surgeon's response to the COVID-19 pandemic, **J. Vasc. Surg.**, v. 71, n. 6, p. 1821-1822, 2020.

RODRIGUES JUNIOR, Luiz; SANTOS, Marcos dos; FERNANDES, Mariana de Carvalho. Aplicação do Travelling Salesman Problem na Roteirização das Viaturas da Marinha do Brasil: uma Abordagem da Teoria dos Grafos. **Anais do IX Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe**, São Cristóvão, Sergipe, 2017.

TAUFER, Fernando Soares Gomes; PEREIRA, Elaine Correia. Aplicação do Problema do Caixeiro Viajante na Otimização de Roteiros. **Anais do XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2011.

UNICEF. **COVID-19 impact assessment on supplies and logistics sourced by UNICEF Supply Division. A picture of the situation as well as risk mitigation undertaken or to be actioned**. 2020. Disponível em: <https://www.unicef.org/supply/stories/covid-19-impact-assessment-suppliesand-logistics-sourced-unicef-supply-division> Acesso em: 30 junho. 2021.

YIN, Robert. Estudo de Caso: **Planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205 p.