



HEURÍSTICA DE MELHORIA PARA OTIMIZAÇÃO DA ALOCAÇÃO DE PONTOS DE CONTROLE DE COVID-19

DENISIE ELLEN DE IOVANNA - denisie.iovanna@ufv.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV – CAMPUS RIO PARANAÍBA

PATRÍCIA DE OLIVEIRA FERREIRA - patricia.o.ferreira@ufv.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV – CAMPUS RIO PARANAÍBA

LAÍS GONÇALVES VIANA – lais.viana@ufv.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV – CAMPUS RIO PARANAÍBA

HELEN VITALINE DE CASTRO SANTOS - helen.castro@ufv.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV – CAMPUS RIO PARANAÍBA

THIAGO HENRIQUE NOGUEIRA - thiagoh.nogueira@ufv.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV – CAMPUS RIO PARANAÍBA

ÁREA: 3. PESQUISA OPERACIONAL

SUBÁREA: 3.1 - MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

RESUMO: A OCORRÊNCIA DE PANDEMIAS É INCONTROLÁVEL, MAS A ANTECIPAÇÃO DE PLANOS DE AÇÃO É CRUCIAL PARA TOMADAS DE DECISÕES EFICAZES E OPORTUNAS. NESSE CONTEXTO, A OTIMIZAÇÃO DESEMPENHA UM PAPEL FUNDAMENTAL AO SIMULAR E RESOLVER MATEMATICAMENTE PROCESSOS E EVENTOS. ESTE TRABALHO TEM COMO OBJETIVO ANALISAR UMA MODELAGEM EXISTENTE PARA O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE EQUIPES DE MONITORAMENTO DE CASOS DE COVID-19 E PROPOR UMA HEURÍSTICA CONSTRUTIVA COMO ABORDAGEM ALTERNATIVA. O ALGORITMO IMPLEMENTADO CONSEGUIU ENCONTRAR UMA DISPOSIÇÃO ÓTIMA DE EQUIPES EM LOCAIS E TEMPOS ESPECÍFICOS, MAXIMIZANDO A IDENTIFICAÇÃO DE CASOS DA DOENÇA. OS RESULTADOS DEMONSTRAM QUE A APLICAÇÃO DE HEURÍSTICAS PODE SER DECISIVA NA TOMADA DE DECISÕES RELACIONADAS À ALOCAÇÃO DE EQUIPES EM PONTOS DE CONTROLE MÓVEIS, CONTRIBUINDO SIGNIFICATIVAMENTE PARA A PREVENÇÃO E CONTROLE DA DISSEMINAÇÃO DA COVID-19.

PALAVRAS-CHAVES: HEURÍSTICA; OTIMIZAÇÃO; COVID-19;

1. INTRODUÇÃO

A COVID-19 é uma doença respiratória causada pelo vírus SARS-CoV-2, popularizada como Coronavírus ou ainda como COVID-19. Seu primeiro caso foi registrado em dezembro de 2019 na cidade de Wuhan, na China e, daí em diante, a doença se alastrou por todo o mundo rapidamente, até que em março de 2020 a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou o estágio de pandemia mundial. Os sintomas variam desde leves a graves, podendo levar, em casos mais graves, à morte [WHO 2020]. Diante dessa situação, certas medidas de controle foram adotadas pelos governos, tais como o distanciamento social, uso de máscaras e implementação de postos de controle para monitorar a circulação de pessoas.

No entanto, essas regras não foram amplamente adotadas por toda a população mundial, agravando ainda mais a situação pandêmica. Assim, frente à urgência em reduzir a disseminação do vírus, foram iniciados estudos para desenvolver uma vacina e, em menos de um ano, uma grande parte da população mundial já estava vacinada. Apesar dos avanços na vacinação, a COVID-19 continua representando uma ameaça à saúde pública global, especialmente com o surgimento de novas variantes do vírus, o que aumenta a possibilidade de novos surtos.

Nesse sentido, é imprescindível que se mantenha a continuidade dos estudos sobre o funcionamento da doença e como pará-la, em um possível cenário. É nesse contexto que a pesquisa operacional pode desempenhar um papel importante na identificação e definição de estratégias de controle. A implementação de tais estruturas é fundamental para evitar a disseminação da doença em determinadas regiões e reduzir a circulação de pessoas em áreas de risco. Para isso, é necessário considerar fatores como localização, fluxo de pessoas, número de casos confirmados, capacidade de testagem e recursos disponíveis [Chen et al. 2020].

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo analisar o modelo de pesquisa operacional proposto por Figueiredo, Campêlo e Costa Santos (2022) e propor uma heurística construtiva para resolvê-lo de forma eficiente, considerando a complexidade das centenas de variáveis envolvidas. Espera-se que os resultados desta pesquisa contribuam para aprimorar as medidas de controle da COVID-19, prevenindo um novo surto da doença e reduzindo seu impacto na saúde pública global.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

CHOI (2021) diz que a ocorrência de uma pandemia é incontrolável, ou seja, é aleatória, mas antecipar possíveis planos de ação o mais rápido possível é fundamental para que as

decisões sejam tomadas em tempo hábil. Assim, a pesquisa operacional, que tem o objetivo de resolver problemas complexos de tomada de decisão, pode ser utilizada para aprimorar a eficiência dos processos, alocar recursos de forma adequada e melhorar a qualidade do atendimento [Brandeau & Sainfort 2018, p. 3].

No contexto da pandemia da COVID-19, um grande problema encontrado no combate à doença foi justamente a distribuição de vagas no sistema de saúde e outros recursos indispensáveis, com a falta de leitos hospitalares e equipamentos para o tratamento em quase todo o Brasil e no mundo [KUBO et al. 2020]. Desse modo, pode-se dizer que essa demanda se enquadra no problema Flow Capturing Problem (FCP), que busca selecionar locais estratégicos para estabelecer instalações a fim de otimizar certos objetivos, como, nesse caso, maximizar a cobertura de serviços. Similarmente ao nosso trabalho, pode-se analisar o artigo de Bogyrbayeva (2021), que busca resolver o problema de localização dos sistemas de pesagem em movimento a fim de detectar veículos sobrecarregados, e dele aprofundar sobre os métodos de resolução de FCPs.

Na busca por meios de resolução deste tipo de problemas NP-complexos, tem-se as heurísticas, técnicas que buscam soluções aproximadas de forma eficiente, e as meta-heurísticas, estratégias mais amplas que englobam diferentes heurísticas para explorar o espaço de soluções de maneira mais abrangente [ITO 2023]. Por exemplo, o artigo feito por [KHALILPOURAZARI, (2021)] utilizou um algoritmo de metaheurística para prever a pandemia da COVID-19; o estudo relaciona-se com nosso trabalho, ajudando a entender como aplicar heurísticas e metaheurísticas em contextos pandêmicos.

Apesar de serem técnicas bastante utilizadas para resolver problemas complexos, as heurísticas não garantem a obtenção da solução ótima, mas são capazes de encontrar soluções satisfatórias em pouco tempo computacional [Santos 2020]. No entanto, a busca pela otimalidade pode exigir uma análise exaustiva de todas as possibilidades, o que é inviável em muitos casos. Desse modo, mesmo que esses algoritmos nem sempre forneçam a melhor solução, suas soluções são aproximadas e satisfatórias, e por isso são consideradas mais viáveis em termos de tempo de resolução quando comparadas a soluções lineares. No artigo de Santos (2019), é analisado o balanço de energia do sistema e realiza uma avaliação heurística dos parâmetros de absorção do nanofluido para otimizar a eficiência do sistema, demonstrando como poderiam ser implementadas em um problema real.

Dentro das heurísticas, existe a busca local, que procura melhorar iterativamente uma solução através de modificações locais próximas, explorando apenas uma parte do espaço de

busca [ARAÚJO 2020]. Devido a essa característica, esse algoritmo é geralmente mais rápido do que os exatos, sendo uma escolha adequada para obter soluções viáveis para problemas NP-completos em um tempo razoável. Junior (2023), traz em seu artigo uma comparação entre a utilização de busca local e as principais metaheurísticas, a qual valida a relação de qualidade e agilidade mencionada e direciona o presente trabalho. Outras particularidades dessa heurística é que ela ocupa pouca memória (normalmente constante) e é capaz de encontrar soluções viáveis em grandes espaços de estados para problemas que atendam a uma função objetivo [LIMA, s.d.].

Considerando o que foi exposto, neste trabalho analisaremos o problema e o modelo linear proposto por Figueiredo, Campêlo e Costa Santos (2022) e iremos propor uma heurística de busca local com intuito de chegar a uma solução viável em menos tempo.

3. MODELO E MÉTODO

Durante a pandemia da COVID-19, um dos maiores desafios para o controle da doença foi a velocidade com que ela se transmitia. No Brasil, por exemplo, o primeiro caso confirmado ocorreu no final de fevereiro e em menos de um mês já haviam sido registradas 304 mortes e 44.154 casos (SanarMed). Para resolver esta problemática, foi adotada a técnica do controle de temperatura em locais com grande fluxo de pessoas, com objetivo de identificar possíveis casos em transeuntes, já que um dos sintomas da COVID-19 é febre alta [Beni GM et al. 2021].

3.1. Modelo matemático

Assim, Figueiredo, Campêlo e Costa Santos (2022, p.2) propuseram a seguinte questão: “Dado um conjunto de possíveis localizações para postos de controle de estrada, escolher um subconjunto para cada instante de tempo de forma a maximizar a capacidade de identificar casos de covid das instalações localizadas em determinado local”.

Os autores formularam este problema como uma modelagem matemática, que pode ser visualizada mais abaixo, e utilizaram o solucionador linear CPLEX para resolvê-lo. Para informações mais detalhadas sobre o modelo e os resultados obtidos pela modelagem linear recomenda-se ler [Figueiredo, Campêlo e Costa Santos 2022].

$$(\max) \sum_{k \in K} \sum_{i \in I(k)} \sum_{t \in T(k)} \mu_{it} x_{k,i}^t.$$

$$\text{S.a.: } (1) \sum_{i \in I^-(k)} x_{k,i}^t \leq 1, \quad \forall k \in K, \quad \forall t \in T(k)$$

$$(2) \sum_{k \in K: i \in I(k): T \in T(k)} x_{k,i}^t \leq 1, \quad \forall i \in I(k), \quad \forall t \in T$$

$$(3) x_{k,i}^{t-1} + \sum_{j \in I(k) \setminus \{i\}} x_{k,j}^t \leq 1, \quad \forall k \in K, \quad \forall i \in I(k), \quad \forall t-1, t \in T(k)$$

$$(4) x_{k,i}^{t-1} \in \{0,1\}, \quad \forall k \in K, \quad \forall i \in I(k), \quad \forall t \in T(k)$$

3.2 Método de resolução

Neste artigo, iremos propor uma heurística de busca local (BL) para solucionar o problema NP-complexo apresentado com mais rapidez que a programação linear. Assim, a seguir explicaremos como funciona a BL e comentaremos algumas particularidades.

O algoritmo começa escolhendo uma instanciização aleatória completa, ou seja, uma atribuição de valores aleatórios para todas as variáveis, escolhidos entre os possíveis valores instantâneos delas, e se movendo de uma instanciização completa para a próxima. Essa busca é guiada por uma função de custo relacionada ao problema que representa a distância entre a atribuição atual e uma solução viável; na variante mais gulosa do algoritmo, em cada etapa, o valor da variável que leva à maior redução da função de custo é alterado. Em geral, a transição de um estado para o próximo envolve apenas uma mudança local no valor de uma única variável, e daí vem o nome “Busca Local”. A operação para em dois casos: quando o custo vira zero (um mínimo global) e, nesse caso, o problema está resolvido, ou quando não há mais como melhorar a atribuição atual mudando apenas uma variável, neste caso, o algoritmo pode ser reiniciado com uma nova atribuição inicial aleatória [DECHTER 2003, p. 192].

Como pode-se notar, este procedimento não tem como objetivo encontrar o caminho até uma solução de interesse mas apenas a própria solução em si. Desse modo, algoritmos de BL são baixos em gasto de memória, como não têm a necessidade de guardar estados, e particularmente úteis em gerar soluções melhores que a inicial. Por este motivo, eles também são chamados de Algoritmos de Otimização [ARAÚJO 2020].

Assim, o código utilizado neste trabalho é uma implementação de um método heurístico construtivo de Busca Local, em linguagem de programação C++. Uma prévia do código com explicações passo a passo da lógica de programação pode ser visualizada no anexo 1, ao final do documento.

4. DADOS E RESULTADOS

Neste estudo são utilizados um conjunto de dados que relaciona informações de fluxo de tráfego e dados relacionados à COVID-19. Na seção a seguir, mostramos o

método de obtenção dos dados e os resultados obtidos com a implementação do código.

4.1 Obtenção dos dados

Para as informações relativas à COVID-19, foram utilizados dados disponíveis na plataforma GitHub do “Department of Health and Mental Hygiene”, ou Departamento de Saúde e Higiene Mental, da cidade de Nova Iorque, que monitora o número de visitas e internações hospitalares de 100.000 pessoas por cidade de residência, obtidos em uma tabela em formato .csv.

Por outro lado, no que diz respeito aos dados de fluxo de automóveis e outros veículos, foi empregada a plataforma Open Data, também de Nova Iorque, onde o Departamento de Transporte fornece observações sobre o volume de tráfego diário subdivididas em 24 intervalos de uma hora por posição, onde cada hora é subdividida em intervalos de 15 minutos, também obtidas em uma tabela de formato .csv.

Em conclusão, vale ressaltar também que, apesar de ter empregado o mesmo método de obtenção, os dados utilizados para a implementação do código não são os mesmos utilizados pelos autores do artigo base [Figueiredo, Campêlo e Costa Santos 2022]. Neste, foram utilizados dados de 2021, os mais recentes disponíveis na época; no entanto, no presente trabalho utilizamos dados atualizados do ano de 2023, o que nos permitiu obter um número maior de instâncias.

4.2 Remodelação dos dados

Em primeiro lugar, foi feita uma filtragem nos dados do volume de trânsito, a fim de restringi-los a 2019, ano em que começou a influência da pandemia, mas as diretrizes de distanciamento social ainda não haviam sido estabelecidas. Então, efetuou-se um controle sobre as direções dos automotores nas várias horas do dia para eliminar eventuais dados duplicados. Quanto aos dados da COVID-19, foram reduzidos para abranger apenas o ano de 2020, de modo a obter números ainda não influenciados pela quarentena e vacinas.

Depois, foi utilizada a função JOIN da linguagem SQL para mesclar as tabelas relativas ao trânsito e à COVID-19, obtendo uma relação de data e distrito com o fluxo de trânsito em outra tabela com os dados finais. Esta última apresenta um total de 52 datas diferentes, cada uma com um número pré-definido de posições determinadas com base ao distrito estudado e à direção em que o veículo segue.

4.3 Construção das instâncias

Para determinar o conjunto de valores a associar às variáveis, foi considerado um horizonte de tempo de um dia (24 horas) e todas as locações contidas na tabela, então fixou-se o número de possíveis equipes utilizadas para 30% das locações ($|K| = 0,3 |I|$). Além disso, cada equipe em um determinado horário tem um agendamento de acordo às restrições de tempo e de local.

4.4 Processador

Os testes foram realizados em um Intel Core i5-10400F (12MB de cache, velocidade de clock de até 4.30 GHz no modo turbo) com 12 threads, 16GB de RAM HyperX Fury DDR4 (padrão 2400MHz) 2666 MHz XMP e um disco rígido Crucial BX500 de 240GB.

4.5 Resultados obtidos

Para realizar um estudo mais completo, foram escolhidos os dias que possuíam dados completos de controle de todos os distritos, totalizando 52 dias. Desse modo, no total, foram obtidas 60.060 instâncias.

O programa foi executado, levando o total de 17405 milissegundos para obter soluções para todas as instâncias. Os resultados finais estão apresentados na Tabela 1 abaixo, onde Função Objetivo indica o número aproximado de casos de COVID-19 que poderiam ser identificados com uma determinada disposição de postos de controle em um determinado intervalo, e Tempo (ms) o tempo necessário para encontrar a solução (em milissegundos). Para facilitar a visualização dos resultados, os valores foram agrupados de acordo com o tempo necessário para encontrar a solução, selecionando apenas o maior valor para cada intervalo de tempo. A solução mais viável está destacada na tabela; foi encontrada em 16 milissegundos e sua função objetivo é de 8171.8958.

TABELA 1 - Valor da Função Objetivo por tempo

N	Função Objetivo	Tempo (ms)	n	Função Objetivo	Tempo (ms)	n	Função Objetivo	Tempo (ms)
---	--------------------	---------------	---	--------------------	---------------	---	--------------------	---------------

1	98,9114	0	12	5536,75	11	23	8107,74	23
2	196,287	1	13	6210,87	12	24	7156,75	24
3	273,392	2	14	7296,63	13	25	5735,19	25
4	374,154	3	15	7963,41	14	25	3605,32	26
5	598,969	4	16	8171,33	15	27	5508,96	27
6	884,863	5	17	8171,89	16	28	5562,52	28
7	1494,27	6	18	8166,04	17	29	5063,42	29
8	2499,19	7	19	8148,38	18	30	5345,55	30
9	3671,41	8	20	8111,13	19	31	5562,52	31
10	4267,12	9	21	8099,09	20	32	5112,42	32
11	4953,79	10	22	7936,36	21	33	5481,61	35

Fonte: autores (2024)

Para efeitos de comparação, o modelo linear foi implementado em C++ pelo CPLEX e resolvido com as mesmas instâncias citadas anteriormente. Nele, foram obtidas 13709 soluções ótimas com um tempo máximo de 3 minutos, enquanto o código com a implementação heurística conseguiu encontrar 19887 soluções viáveis em um tempo total de 17,4 segundos.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi apresentada uma modelagem matemática que aloca equipes em vários períodos para estabelecer pontos de controle móveis aptos a combater a Covid-19. Nosso objetivo foi analisar este modelo e propor uma heurística construtiva como uma abordagem alternativa para resolver o problema. Assim, criamos um código em linguagem C++ que permitiu encontrar soluções mais aproximadas para o problema complexo de otimização combinatória, que, numa abordagem linear, empregaria demasiado tempo de execução. Nosso programa foi capaz de fornecer soluções para 60.060 instâncias (19.887 soluções viáveis) com um tempo total de 17,4 segundos.

Desse modo, nossos estudos demonstraram que as heurísticas são uma opção viável em relação às soluções lineares, especialmente quando se trata de resolver casos mais complexos em um tempo reduzido. A heurística construtiva desenvolvida mostrou-se eficiente ao gerar soluções iniciais aleatórias e melhorá-las iterativamente por meio de um processo de busca local. Esses resultados destacam a utilidade das heurísticas como uma alternativa prática para resolver problemas desafiadores em um tempo viável. Embora as soluções encontradas não sejam ótimas, elas fornecem resultados satisfatórios e podem ser aplicadas de forma eficaz no contexto do combate à COVID-19.

Concluimos, portanto, que a utilização de heurísticas, como a proposta neste trabalho, pode desempenhar um papel importante na tomada de decisões relacionadas à alocação de equipes em pontos de controle móveis, contribuindo para a prevenção e controle da disseminação da doença.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, Ricardo. Busca local e otimização. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://ricardomatsumura.medium.com/busca-local-e-otimiza%C3%A7%C3%A3o-4b69d25eb49e#:~:text=Relembrando%2C%20uma%20heur%C3%ADstica%20%C3%A9%20uma,zer o%2C%20esta%20%C3%A9%20a%20solu%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 5 jul. 2023.
- BENI, Giovana Muniz et al. Eficácia da aferição de temperatura corporal no combate a COVID-19: uma revisão bibliográfica. *Revista de Medicina*, v. 100, n. 4, p. 375-379, 2021.
- Bogyrbayeva, Aigerim & Kwon, Changhyun, 2021. "Pessimistic evasive flow capturing problems," *European Journal of Operational Research*, Elsevier, vol. 293(1), pages 133-148.
- Brandeau, M. L., & Sainfort, F. (Eds.). (2018). *Operations research and health care: A handbook of methods and applications* (Vol. 45). Springer. Tradução nossa.
- Chen, X., Tang, M., & Zhang, Y. (2020). Research on Checkpoints Location and Optimization Model of COVID-19 Epidemic Prevention and Control. *Journal of Healthcare Engineering*, 2020, 1-11.

CHOI, Tsan-Ming. Fighting against COVID-19: What operations research can help and the sense-and-respond framework. *Annals of Operations Research*, p. 1-17, 2021.

DECHTER, Rina. Stochastic Greedy Local Search. In: *CONSTRAINT Processing: A volume in The Morgan Kaufmann Series in Artificial Intelligence*. University of California, Irvine: Elsevier Inc., 2003. cap. 7, p. 191-208. ISBN 978-1-55860-890-0.

JUNIOR, Sidnei Gouveia et al. Algoritmo híbrido de busca local guiada para o problema de roteamento de veículos capacitados. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*, v. 21, n. 3, p. 1581-1602, 2023.

KHALILPOURAZARI, Soheyl; HASHEMI DOULABI, Hossein. Designing a hybrid reinforcement learning based algorithm with application in prediction of the COVID-19 pandemic in Quebec. *Annals of Operations Research*, p. 1-45, 2021.

LIMA KUBO, H. K.; CAMPIOLO, E. L.; OCHIKUBO, G. T.; BATISTA, G. Impacto da pandemia do covid-19 no serviço de saúde: uma revisão de literatura. *InterAmerican Journal of Medicine and Health*, [S. l.], v. 3, 2020. DOI: 10.31005/iajmh.v3i0.140. Disponível em: <https://www.iajmh.com/iajmh/article/view/140>. Acesso em: 5 jul. 2023.

LIMA, Edirlei Soares. Aula 05 – Busca Local. In: *INF 1771 – Inteligência Artificial*. [S. l.], s.d.. Disponível em: https://edirlei.com/aulas/ia_2015_1/IA_Aula_05_Busca_Local_2015.html. Acesso em: 5 jul. 2023.

Pedro Jorge de Abreu Figueredo; Manoel Campêlo; Marcio Costa Santos. Applications of checkpoint allocation in Covid context. In: *ANAIS DO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL*, 2022, Juiz de Fora. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2022. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo/sbpo-2022/trabalhos/applications-of-checkpoint-allocation-in-covid-context?lang=pt-br>> Acesso em: 09 abr. 2023.

Raffaella Riemann, David Z.W. Wang, Fritz Busch, Optimal location of wireless charging facilities for electric vehicles: Flow-capturing location model with stochastic user equilibrium, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 58, Part A, 2015, Pages 1-12, ISSN 0968-090X, <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.06.022>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X15002375>, acesso em 31/03/2023

SanarMed. Linha do tempo do coronavírus no Brasil. Disponível em: <https://www.sanarmed.com/linha-do-tempo-do-coronavirus-no-brasil>. Acesso em: [17/05/2023].

SANTOS, Rogério Feliciano de Moura. Balanço de energia e avaliação heurística de parâmetros de absorção de um sistema solar fototérmico baseado no nanofluido dióxido de titânio-água deionizada. 2019.

WHO. (2020). Coronavirus disease (COVID-19) pandemic. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2020-DON229>. Acesso em: 08 abr. 2023.

.

ANEXO 1 - Pseudocódigo

(1) Definição e declaração

Em primeiro lugar, é feita a inclusão das bibliotecas necessárias para a execução do programa, a declaração de constantes e variáveis utilizadas no código e a definição das estruturas de dados, uma para representar as equipes de identificação de casos e outra para os fluxos de tráfego.

(2) Função saveCSV

Em seguida, é implementada uma função para salvar dados em um arquivo CSV, de modo a obter os resultados finais em texto que contém dados legíveis em programas auxiliares (microsoft excel).

(3) Função extraiDados

Aqui define-se a função que permite extrair os dados de tráfego e relacionados à COVID-19, método que será explicado mais à frente no documento.

(4) Função estimativa_casos_identificados

Agora, implementa-se uma função para estimar o número de casos identificados com base nos parâmetros fornecidos. Esta função é a que verifica se as condições de limitações de tempo e local estão satisfeitas.

(5) Função calcula_funcao_objetivo

Implementa uma função para calcular a função objetivo, que representa o máximo total de casos identificados com base na alocação de equipes.

FUNÇÃO PRINCIPAL

(6) Extração

No bloco principal do programa (função main), começa-se extraindo os dados de tráfego, dos bairros e das datas do banco de dados e armazenando-os em um vetor de estruturas.

(7) Solução inicial

Em seguida, cria-se uma solução inicial aleatória para a alocação das equipes, para inicializar a heurística. Calcula-se a função objetivo para a solução inicial e registra-se o resultado em um arquivo CSV.

(8) Função Objetivo

Depois, implementa-se a função que calcula o número máximo de possíveis casos de COVID-19 identificados dentre todos os elementos do fluxo de tráfego.

(9) Melhoria das soluções

Então, realiza-se iterações para tentar melhorar a solução, escolhendo aleatoriamente uma equipe e mudando sua localização. Para a nova solução proposta, se calcula a função objetivo e há uma decisão:

- (a) Se a nova solução for melhor, mantém a mudança.
- (b) Se a nova solução for pior, desfaz a mudança.

(10) Arquivo de resultados

Por fim, se salva e fecha o arquivo com os resultados obtidos, incluindo os valores da função objetivo e o tempo empregado para encontrá-la.

FIM DA FUNÇÃO PRINCIPAL