



LOCALIZAÇÃO DE MAMÓGRAFOS: UTILIZAÇÃO DOS MÉTODOS VNS E VND PARA MAXIMIZAR O NÚMERO DE EXAMES REALIZADOS NO ESTADO RONDÔNIA

BEATRIZ DE CAMARGOS OLIVEIRA LEMOS – beatriz.lemes@ufv.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB

BRUNA C. NAVES SANTOS – bruna.naves@ufv.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP - BAURU-FEB

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

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

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

ÁREA: 3. PESQUISA OPERACIONAL

SUBÁREA: 3.1 – MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

RESUMO: O CÂNCER É UMA DOENÇA CAUSADA PELA MULTIPLICAÇÃO CELULAR DESORDENADA, RESULTANTE DE MUTAÇÕES NOS GENES QUE REGULAM O CICLO CELULAR. ENTRE OS DIVERSOS TIPOS DE CÂNCER, O DE MAMA É UM DOS MAIS FREQUENTES, ESPECIALMENTE ENTRE AS MULHERES. NO BRASIL, EMBORA HAJA UM NÚMERO SUFICIENTE DE MAMÓGRAFOS PARA ATENDER A POPULAÇÃO, ESSES EQUIPAMENTOS ESTÃO MAL DISTRIBUÍDOS, COM ALGUMAS REGIÕES TENDO EXCESSO E OUTRAS NENHUMA COBERTURA. ESTE ESTUDO VISA DESENVOLVER MODELOS DE OTIMIZAÇÃO PARA UMA DISTRIBUIÇÃO MAIS RACIONAL DOS MAMÓGRAFOS NO ESTADO DE RONDÔNIA. A ABORDAGEM UTILIZA O MÉTODO VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH (VNS) PARA EXPLORAR SOLUÇÕES VIZINHAS A PARTIR DE UMA SOLUÇÃO INICIAL E SERÁ REFINADA PELO MÉTODO VARIABLE NEIGHBORHOOD DESCENT (VND), QUE EMPREGA UMA SEQUÊNCIA PRÉ-DEFINIDA DE ESTRUTURAS DE VIZINHANÇA PARA ENCONTRAR SOLUÇÕES MELHORES.

PALAVRAS-CHAVES: PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO; VNS; VND.

1. INTRODUÇÃO

O câncer é uma doença advinda da multiplicação celular desordenada gerada por mutações nos genes que codificam as proteínas reguladoras do ciclo celular (HÖFELMANN, 2012). As células cancerígenas têm diferentes particularidades, tal como, a capacidade de multiplicar-se mesmo com a falta de sinais de proteínas que incitam o crescimento, além da metástase (que é a capacidade de mudar para outras partes do corpo) e de não se submeterem a apoptose (morte celular programada) (BERNARDES et al., 2019). Dentre os diversos tipos de câncer diagnosticados, o de mama se mostra como um dos principais e mais recorrentes, uma vez que se trata do segundo câncer mais frequente no mundo e o primeiro no gênero feminino, representando aproximadamente 28% dos casos diagnosticados anualmente. (AGOSTINHO et al., 2019).

Alguns fatores podem dificultar ou criar obstáculos ao acesso a serviços de saúde, como os custos de transporte e a localização dos centros de saúde (DONABEDIAN, 1973). Tendo em vista os parâmetros propostos para disponibilização de mamógrafos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2015), no Brasil existe uma quantidade de mamógrafos suficiente para o completo atendimento da população.

A distância que a mulher necessita percorrer até o local onde está instalado o mamógrafo para atendê-la, é o aspecto que mais contribui para que elas não realizem o exame, sendo assim, é imprescindível a realização de estudos para otimizar a distribuição dos mamógrafos (ANDRADE et al., 2016). Segundo Amaral et al. (2017), a localização ineficiente de equipamentos de saúde é um desperdício de recursos, além de configurar um sério problema social.

Com base no problema de má distribuição de mamógrafos no Brasil citado acima, o presente trabalho buscou desenvolver modelos de otimização para uma distribuição mais racional de equipamentos de mamografia, baseados na metaheurística *Variable Neighborhood Search (VNS)* que tem como objetivo realizar buscas em torno da solução inicial na procura de soluções melhores (MACIEL et al., 2005). Além disso, o VNS foi refinado pela heurística *Variable Neighborhood Descent (VND)*, que utiliza uma sequência pré-definida de estruturas de vizinhança para buscar soluções melhores (SOUZA, 2022). Vale ressaltar que o problema em estudo se caracterizou como um problema de localização do tipo *NP-hard*, uma vez que não é possível resolvê-lo utilizando uma forma geral de

solução.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Um método heurístico é um processo de solução de problema apoiado em critérios racionais ou computacionais para escolher um caminho entre vários possíveis, sem percorrer todas as possibilidades, encontrando uma solução viável ou próxima da ótima (FUCHIGAMI, 2005). Já as metaheurísticas, de acordo com Becceneri (s.d), são procedimentos que guiam outras heurísticas, ou seja, procedimentos computacionais de busca local, que exploram o espaço de soluções além do ótimo local e consideram boas características das soluções encontradas para explorar novas regiões promissoras. Ainda de acordo com o autor, as metaheurísticas são utilizadas quando o problema é do tipo *NP-hard* ou NP-completo.

Conforme citado anteriormente, o presente trabalho buscou maximizar o número de exames realizados no Estado de Rondônia, utilizando a metaheurística *Variable Neighborhood Search* (VNS), proposta em 1997 por Hansen Mladenovic e que explora, a partir de uma solução inicial, o espaço de soluções vizinhas através de trocas sistemáticas de estruturas de vizinhança (MACIEL et al., 2005). Ainda, a solução corrente do VNS será refinada pelo *Variable Neighborhood Descent* (VND), um caso particular do VNS, também proposto por Hansen e Mladenovic (1997), que utiliza uma sequência pré-definida de estruturas de vizinhança para buscar soluções melhores (SOUZA, 2022). O VND foi escolhido tendo em vista que é um algoritmo com processamento rápido (OLIVEIRA, 2020).

Como trabalhos semelhantes, tem-se o estudo de Corrêa et al. (2018), que buscou alocar um conjunto de mamógrafos a um conjunto de locais em 12 regiões de saúde do Estado de Minas Gerais, envolvendo 151 cidades. A partir disso, foram desenvolvidas quatro formulações de programação linear inteira, no intuito de minimizar a distância total. Tais formulações foram aplicadas às instâncias da literatura e às instâncias reais, e, como resultado foi possível encontrar alternativas para situações em que não haveria solução. Por outro lado, quando se leva em consideração o volume de mulheres se deslocando, há mudança na localização dos mamógrafos. Logo, a quarta formulação pode ser utilizada para minimizar os custos de deslocamento. Ainda, observou-se que a distribuição de mamógrafos na região estudada é inadequada, visto que há cidades em que as mulheres têm

que se deslocar para serem atendidas e, em outras cidades, a quantidade de equipamentos não é suficiente para atender a demanda.

Já o estudo de Andrade et al. (2016), buscou analisar a oferta dos mamógrafos em Minas Gerais e os impactos dessa distribuição na probabilidade de realização do exame. Para tanto, foi realizada uma análise controlada por meio da estimação do modelo *logit* e todos os dados obtidos foram implementados em Python. Com base nisso, os resultados demonstraram que, em média, mulheres com plano de saúde apresentam melhores resultados. Já as mulheres sem plano, apresentam, em média, os piores resultados. Notou-se também que existem grandes disparidades regionais na quantidade de equipamentos, distância e tempo de deslocamento. Logo, o principal resultado encontrado foi que o tempo de deslocamento é um importante limitador ao acesso à realização do exame, pois se o mamógrafo está distante das mulheres, é muito provável que elas não irão se deslocar para realizar o exame.

3. METODOLOGIA

3.1. Problema de Localização de Mamógrafos (PLM)

Tendo em vista que o presente estudo procurou desenvolver um modelo de otimização que contribua para uma distribuição mais racional de equipamentos de mamografia, buscou-se atingir o maior número possível de exames para as mulheres na faixa de idade indicada para a realização, conforme o Sistema Único de Saúde (SUS). Para tanto, foi utilizado como base o Problema de Localização de Mamógrafos (PLM), que possui as seguintes características:

- Existe um conjunto N de n localidades candidatas a receber mamógrafos e um conjunto de p mamógrafos disponíveis, com $p < n$;
- Cada mamógrafo possui uma capacidade cap anual de realização de exames de mamografia;
- Cada localidade j possui uma demanda dem_j anual de exames de mulheres na faixa de idade indicada para realizá-los;
- As mulheres que residem na localidade j devem se deslocar, no máximo, R quilômetros (km) até os postos de atendimento onde estão instalados os aparelhos de mamografia. Aqui considerou-se que a distância máxima R deve ser respeitada tanto na ida quanto na volta do atendimento;
- Apenas localidades com infraestrutura hospitalar são candidatas a sediar um equipamento de mamografia. Considerou-se que a localidade é candidata a sediar um

equipamento de mamografia se ela tiver a demanda de dem_{Min} exames de mulheres na faixa de idade indicada para realizar o exame.

3.2. Modelo matemático

Para formulação do modelo matemático, considerou-se que cada localidade ou é totalmente atendida ou não é atendida. Logo, tem-se:

Parâmetros do estudo:

- N = conjunto das localidades
- d_{ij} = distância do local i ao local j
- dem_j = demanda por exames de mamografia no local j
- cap = capacidade de atendimento de exames do mamógrafo
- p = número de mamógrafos a serem alocados
- R = distância máxima para atendimento
- dem_{Min} = Demanda mínima de exames que um local deve possuir para justificar a instalação de um mamógrafo
- $S_i = \{j \in N \mid d_{ij} \leq R \text{ e } d_{ji} \leq R\}$ onde o conjunto das localidades que distam R km da localidade i

Variáveis de Decisão:

- $x_{ij} = 1$, se as mulheres do local j são atendidas por um mamógrafo instalado no local i ou 0, caso contrário;
- y_i = quantidade de equipamentos a serem instalados no local i ;
- $z_i = 1$, se o local i sediar a instalação de algum mamógrafo ou 0, caso contrário.

A partir disso, a função objetivo (1) visa a maximização da demanda total por exames de mamografia, e pode ser descrita como:

$$\max \sum_{i \in N} \sum_{j \in S_i} dem_j \cdot x_{ij} \quad (1)$$

Em seguida, tem-se as restrições do problema. As restrições 2 indicam que cada cidade j precisa ser atendida por um único mamógrafo instalado na cidade i , ou não ser atendida. Já as terceiras restrições (3) determinam que todos os p equipamentos devem ser alocados e que uma cidade pode receber mais do que um equipamento. As restrições 4 garantem que a capacidade de cada equipamento precisa ser respeitada.

$$s. t. \sum_{i \in N} x_{ij} \leq 1, \quad \forall j \in N \quad i \in S_j \quad (2)$$

$$\sum_{t \in N} y_t = p \quad (3)$$

$$t \in N$$

$$\sum dem_j \cdot x_{ij} \leq cap \cdot y_i, \quad \forall i \in N \quad j \in S_i \quad (4)$$

As restrições de número 5 asseguram que se pelo menos um equipamento for instalado na cidade i então a variável z_i assume o valor 1. As restrições 6 asseguram que uma cidade j só pode ser atendida por uma cidade i se houver um equipamento instalado nela. As restrições 7 garantem que a demanda da cidade i seja atendida pelo equipamento instalado nela própria. As restrições 8 impedem que locais i com demanda por atendimentos menor que $demMin$ sejam candidatos a sediar mamógrafos, para justificar economicamente sua instalação.

$$z_i \geq y_i / p, \quad \forall i \in N \quad (5)$$

$$z_i \geq x_{ij}, \quad \forall i, j \in N \quad (6)$$

$$x_{ii} = z_i, \quad \forall i \in N \quad (7)$$

$$y_i = 0, \forall i \in N | dem_i \leq demMin \quad (8)$$

Por fim, as últimas restrições (9, 10 e 11) impõem o domínio das variáveis de decisão.

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i, j \in N \quad (9)$$

$$y_i \in Z, \quad \forall i \in N \quad (10)$$

$$z_i \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in N \quad (11)$$

3.3. Métodos utilizados para resolver o PLM

3.3.1 VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH (VNS)

O *Variable Neighborhood Search* (VNS) ou metaheurística de Busca em Vizinhança Variável, proposto por Mladenovic & Hansen (1997), explora o espaço de soluções por meio de trocas sistemáticas das estruturas de vizinhança. De acordo com Pantuza Júnior (2016), ao contrário de outras metaheurísticas baseadas em métodos de busca local, o método VNS não segue uma trajetória, ele explora vizinhanças diferentes da solução corrente e focaliza a busca em torno de uma nova solução, se e somente se, um movimento de melhora é realizado. A seguir, encontra-se o pseudocódigo do VNS:

ALGORITMO 1 – Pseudocódigo do VNS

Procedimento VNS ($f(\cdot)$, $N(\cdot)$, r , s);

1. Seja s uma solução iniO
 2. Seja r o número de estruturas diferentes de vizinhança;
 3. $s \leftarrow s_o$;
 4. **Enquanto** (critério de parada não satisfeito)
faça
 5. $k \leftarrow 1$;
 6. **Enquanto** ($k \leq r$) **faça**
 7. Gere um vizinho qualquer $s' \in N^{(k)}(s)$;
 8. $s'' \leftarrow$ Busca Local (s');
 9. **Se** ($f(s'') < f(s)$) **então**
 10. $s \leftarrow s''$;
 11. $k \leftarrow k + 1$;
 12. **Senão**
 13. $k \leftarrow k + 1$;
 14. **Fim-se**
 15. **Fim-enquanto**;
 16. **Fim-enquanto**;
 17. Retorne s ;
- Fim VNS.**

Fonte: Autores (2023)

3.3.2. VARIABLE NEIGHBORHOOD DESCENT (VND)

O *Variable Neighborhood Descent* ou Descida em Vizinhança Variável, também proposto por Mladenovic e Hansen (1997), se caracteriza como um procedimento de busca local aplicado sobre a solução corrente, porém, é utilizado para o refinamento de soluções iniciais através de movimentos (trocas), utilizando as estruturas de vizinhanças. Este método aceita apenas as soluções de melhora da solução corrente, retornando à primeira estrutura quando uma solução melhor é encontrada (PANTUZA JÚNIOR, 2016). A seguir, encontra-se o pseudocódigo do VND:

ALGORITMO 2 – Pseudocódigo do VND

Procedimento VND ($f(\cdot)$, $N(\cdot)$, r , s);

1. Seja r o número de estruturas diferentes de vizinhança;
 2. $k \leftarrow 1$;
 3. **Enquanto** ($k \leq r$) **faça**
 4. Encontre um vizinho $s' \in N^{(k)}(s)$;
 5. **Se** ($f(s') < f(s)$) **então**
 6. $s \leftarrow s'$;
 7. $k \leftarrow 1$;
 8. **Senão**
 9. $k \leftarrow k + 1$;
 10. **Fim-se**
 11. **Fim-enquanto**
 12. Retorne s ;
- Fim VND.**

Fonte: Autores (2023)

Dentro do VND, foram utilizadas três estruturas de vizinhança, o SHIFT (deslocamento), o SWAP (troca) e o SHIFT TYPE. As estruturas de vizinhança, segundo Campos (2018), são estratégias utilizadas para realização de movimentos de melhora da solução obtida pela heurística construtiva. A estrutura SHIFT envolve mover um elemento da solução atual para uma nova posição. Logo, um cliente foi removido de um atendimento e inserido em outro (nesse caso, o cliente que estava sendo atendido pelo mamógrafo A, passou para o B). Já o SWAP, envolve a troca de dois elementos da solução atual. Sendo assim, os clientes foram permutados (se no mamógrafo A estava o cliente 1 e no B o cliente 2, com o SWAP o cliente 1 passou para o B e o cliente 2 para o A). O SHIFT TYPE é uma extensão do SHIFT, que envolve o deslocamento de um elemento para uma nova posição considerando um tipo específico. À vista disso, houve uma mudança de mamógrafos (o que estava no cliente 2, passou para o 3). Para realizar as trocas simétricas dessas estruturas, utilizou-se do critério de escolha Best Improvement (BI), que analisa todas as possíveis soluções vizinhas de uma determinada solução, até encontrar aquela que apresenta a maior melhoria em relação à solução atual (NOGUEIRA, 2011).

3.3.3. VNS-VND

No presente estudo, utilizou-se o método VNS associado ao método VND, abordagem que combina os pontos fortes de ambas as técnicas para explorar o espaço de soluções de forma mais eficiente. Tal combinação permite uma exploração mais ampla e diversificada do espaço de soluções, uma vez que diferentes vizinhanças são exploradas com a aplicação do VND em

cada uma delas, o que pode ajudar a escapar de mínimos locais e encontrar soluções de melhor qualidade. A seguir, encontra-se o pseudocódigo do VNS-VND:

ALGORITMO 3 – Pseudocódigo do VNS-VND

```
1.  $s \leftarrow \text{solução inicial};$   
2.  $i \leftarrow 1;$   
3. Enquanto  $i \leq a$  faça  
4.    $k \leftarrow 1;$   
5.   Enquanto  $(k \leq \beta)$  faça  
6.      $s' \leftarrow \text{gera um vizinho qualquer de } s;$   
7.      $s'' \leftarrow \text{VND}(s');$   
8.     Se  $f(s'') \leq f(s)$  então  
9.        $S \leftarrow s'';$   
10.     $k \leftarrow 1;$   
11.  Senão  
12.     $k \leftarrow k + 1;$   
13.  Fim-se  
14. Fim-enquanto  
15.  $i \leftarrow i + 1;$   
16. Fim-enquanto  
17. Retorna S;  
Fim VNS-VND.
```

Fonte: Autores (2023)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os métodos apresentados anteriormente foram implementados no programa Code::Blocks através da linguagem de programação C++ e, para desenvolvimento, utilizou-se de uma instância referente ao Estado de Rondônia, de acordo com dados do censo de 2010. Além disso, as distâncias entre as cidades foram obtidas através de um software de direções rápidas, o *GraphHopper Directions API*, considerando um raio de 60km. Logo, verificou-se que o Estado possui 52 cidades e, conforme consta na página do setor de estatísticas da Secretaria Estadual de Saúde (SESAU/RO), há 8 mamógrafos em todo o Estado, porém apenas 5 estão em operação. Desses 5 mamógrafos, 3 estão sob gestão municipal (um em Ariquemes, um em Ji-Paraná e outro em Porto Velho) e atendem apenas as cidades que os tem. Os outros 2 mamógrafos estão sob gestão estadual e atendem a demanda das cidades de Porto Velho e Vilhena.

Assim, com esses 5 equipamentos o Estado realiza 23046 exames, o que equivale a 90,9% da capacidade deles, se a restrição de distância de deslocamento for respeitada. Neste contexto, considerando que devem ser mantidas as alocações dos equipamentos, tanto sob gestão municipal quanto estadual, foram analisados 3 possíveis cenários (Tabela 1). No

cenário 2, considerou-se a possibilidade de aquisição de mais um equipamento, no cenário 3, de dois equipamentos e, no quarto e último cenário, considerou-se a alocação de 8 equipamentos, sem fixar nenhum previamente. Vale ressaltar que em cada um dos cenários foi considerado que cada localidade ou é totalmente atendida ou não é atendida.

TABELA 1 - Características dos cenários

Cenário	Qntd. já utilizada	Qntd. a alocar	Total
2	5	1	6
3	5	2	7
4	0	8	8

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Em cada cenário, considerou-se ainda como pré-processamento que a demanda por exames de cada localidade deve ser menor que a capacidade de um mamógrafo. Quando isso não for atendido, basta alocar um mamógrafo a cada localidade que tenha mais demanda do que a capacidade de exames do equipamento e repetir esse procedimento até que os mamógrafos sejam utilizados em sua capacidade máxima. Os resultados obtidos através do VNS-VND foram comparados na Tabela 2, abaixo.

TABELA 2 - Resultados obtidos em cada cenário

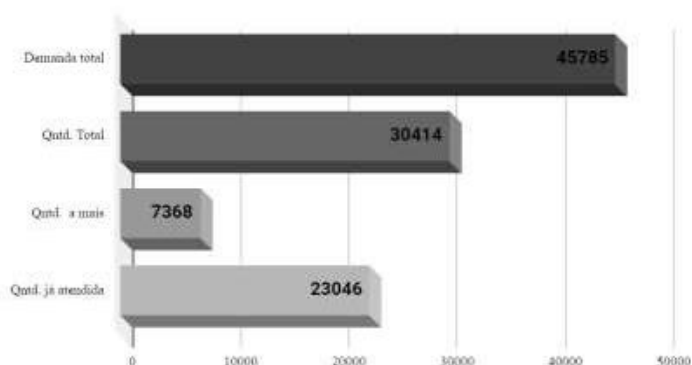
Cenários	2	3	4
Método	VNS-VND	VNS-VND	VNS-VND
Q. Fixa	23046	23046	0
Q. Aloc.	7368	12437	35483
Q. Total	30414	35483	35483
% Cap. Aloc.	100	100	87,5
% Cap. Total	100	100	87,5
Demanda Total	45785	45785	45785
% atendimento	66,4	77,5	77,5
% fixa (atual)	50,3	50,3	0
Aumentou em %	16,1	27,2	77,5

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Na primeira linha de resultados da Tabela 2, tem-se o número fixo de exames já realizados pelo estado, sendo de 23046 exames para os cenários 2 e 3. Na segunda linha, tem-se a quantidade de exames retornada pelo método, incluindo o pré-processamento, enquanto na terceira linha é totalizada a quantidade de exames por cenário, ou seja, a quantidade já atendida pelo Estado mais a quantidade alocada por cada método. Na quarta linha, calculou-se o percentual de aproveitamento da capacidade dos mamógrafos alocados pelo método (excluindo aqueles já fixados), enquanto na quinta linha esse percentual foi calculado tendo

em vista a capacidade de todos os mamógrafos daquele cenário. Na sexta linha, encontra-se a demanda total de exames que a instância tem, sendo necessários anualmente 45785 exames no Estado. Em seguida, na sétima linha, tem-se a porcentagem de atendimento da demanda para cada método, onde o valor atendido pelo estado era de 50,3% (linha oito) e, na linha 9, pode-se observar a porcentagem que esse valor aumentou de acordo com cada método utilizado. Para melhor visualização dos resultados, cada cenário foi detalhado separadamente. No caso do cenário 2 (gráfico 1), o método VNS-VND conseguiu atender 7368 exames a mais do que já era realizado no Estado, totalizando em 30414 exames.

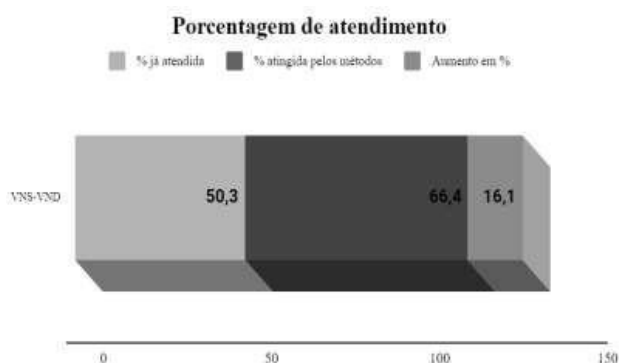
GRÁFICO 1 - Cenário 2



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

No gráfico 2, abaixo, é possível visualizar a porcentagem de atendimento do cenário. Ao comparar com a porcentagem que o Estado já atendia, o método resultou em um aumento de 16,1%.

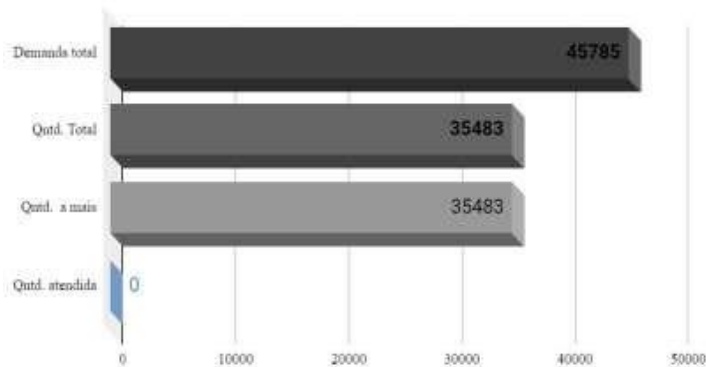
GRÁFICO 2: Porcentagem de atendimento do cenário 2



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

No cenário 3 (gráfico 3), foi possível atender 12437 exames a mais do que já era atendido pelo Estado, totalizando em um valor de 35483 exames.

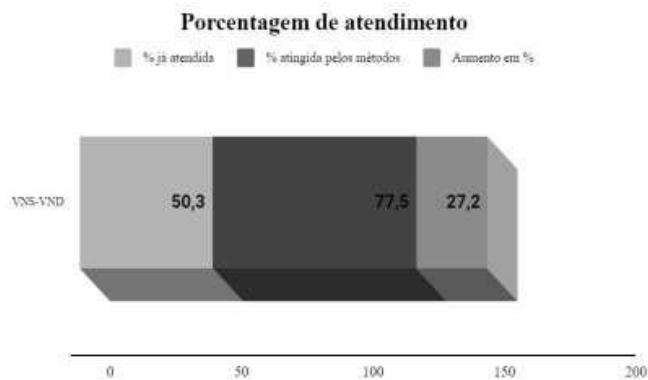
GRÁFICO 3 - Cenário 3



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Em relação à demanda, comparando o VNS-VND resultou em um aumento de 27,2% em relação à demanda que o Estado já atendia.

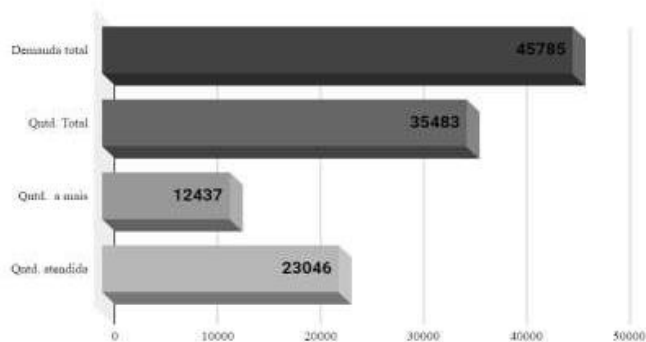
GRÁFICO 4: Porcentagem de atendimento do cenário 3



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Já para o cenário 4 (gráfico 5), o VNS-VND continuou atendendo 35483 exames e ao comparar com a quantidade de exames realizados pelo Estado, demonstra um aumento significativo.

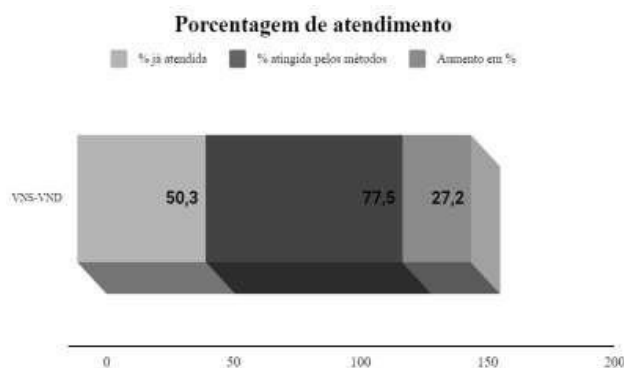
GRÁFICO 5: Cenário 4



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Para o cenário 4 (gráfico 6), o método conseguiu atingir 77,5% da demanda do Estado. Como citado anteriormente, esse salto no atendimento da demanda aconteceu porque nenhum equipamento foi previamente alocado nesse cenário.

GRÁFICO 6: Porcentagem de atendimento do cenário 4



Fonte: Elaborada pelos autores (2023)

5. CONCLUSÃO

O presente estudo abordou o Problema de Localização de Mamógrafos (PLM), no intuito de obter uma distribuição mais racional de equipamentos de mamografia no Estado de Rondônia. Para tanto, utilizou-se do método VNS-VND, aplicado a três cenários distintos relativos a uma instância do Estado de Rondônia, considerando um raio de 60km. Para os cenários 2 e 3, considerou-se a quantidade de 5 equipamentos em operação no Estado. Nesse sentido, propôs-se a atribuição de mais 1 e 2 equipamentos, respectivamente. No quarto cenário, de forma hipotética, alocou-se 8 mamógrafos desconsiderando a alocação prévia dos equipamentos. Confrontando os resultados obtidos nos cenários 2 e 3, fica evidente que a pre-fixação dos 5 mamógrafos exerceu uma influência negativa nos mesmos, uma vez que obtiveram piores resultados em relação ao cenário 4, onde a demanda atendida foi maior que dos demais. Em relação à alocação dos equipamentos, o VNS-VND conseguiu atingir 100% para os cenários 2 e 3 e 87,5% para o cenário 4, o que mostra um bom aproveitamento dos mamógrafos alocados.

Com base nisso, apesar de ser um método simples e de fácil implementação, o VNS-VND resultou em ganho em relação ao valor fixo de exames já realizados pelo Estado,

passando de 23046 para 35483 exames nos cenários 3 e 4, aumentando significativamente o número de pessoas atendidas. Apesar das dificuldades encontradas na elaboração, desenvolvimento e programação, o objetivo do presente estudo foi atingido. Para trabalhos futuros, propõe-se o aumento do raio de deslocamento entre as cidades do Estado, com o objetivo de atender mais cidades e mulheres. Sugere-se também a utilização de estruturas de vizinhança maiores, pois quanto maior a quantidade de estruturas de vizinhança, mais soluções podem ser geradas. Por fim, outra proposta interessante é a implementação do PLM através de algoritmos mais robustos e complexos como o *Iterated Local Search* (ILS) e os algoritmos genéticos.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, J. C.; et. al. Análise dos fatores de risco do Câncer de Mama e avaliação da campanha preventiva “Outubro Rosa”. Revista Saúde UniToledo, v. 3, n. 2, 2019.
- AMARAL, P.; et. al. Distribuição espacial de equipamentos de mamografia no Brasil. Revista Brasileira De Estudos Urbanos e Regionais, 19(2), 326, 2017.
- ANDRADE, M. V.; et. al. Distribuição espacial dos mamógrafos em minas gerais e o efeito na probabilidade da realização do exame. In Anais do XX Encontro Nacional de Estudos Populacionais, p. 1–21, 2016. Associação Brasileira de Estudos Populacionais (ABEP). Disponível em: <<http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/2506/2450>>. Acesso em 10/09/2018>. Acesso em abril de 2023.
- ASSIS M.M.A.; JESUS, W.L.A. Acesso aos serviços de saúde: abordagens, conceitos, políticas e modelo de análise. Ciência e Saúde Coletiva. 2012; 17(11): 2865-75
- BECCENERI, J. C. Meta-heurísticas e Otimização Combinatória: Aplicações em Problemas Ambientais, [s.d.].
- BERNARDES, N. B.; et al. Câncer de Mama X Diagnóstico. Revista Multidisciplinar e de Psicologia, v. 13, n. 44, p. 877-885, 2019.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidente da República,[2016]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em abril de 2023.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Critérios e parâmetros para o planejamento e programação de ações e serviços de saúde no âmbito do sistema único de saúde: parâmetros SUS. Brasília: Ministério da Saúde, 2015.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012]. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2013/res0466_12_12_2012.html. Acesso em maio de 2023.

CAMPOS, A. A. O problema de roteamento de veículos para coleta de lixo com janelas de tempo: abordagem heurística. Viçosa, MG, 2018.

CAMPOS, M. V. A. Formulações de programação matemática e um algoritmo heurístico para o problema de localização de mamógrafos, 2020.

CHURCH, R.; VELLE, C. R. The maximal covering location problem. Papers of the Regional Science Association, 32:101–118, 1974.

CORREIA, V. H. V.; LIMA, B. J. C.; SILVA-E-SOUZA, P. H.; PENNA, P. H. V.; SOUZA, M. J.

F. (2018). Localização de mamógrafos: um estudo de caso na rede pública de saúde. In: Anais do L Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – L SBPO, Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/Publicações/SBPO2018-Mamografos.pdf>. Acesso em abril de 2023.

DONABEDIAN, A. Aspects of Medical Care Administration. Harvard University Press, Boston, 1973.

FUCHIGAMI, H.Y. Métodos heurísticos construtivos para o problema de programação da produção em sistemas flow shop híbridos com tempos de preparação das máquinas assimétricas e dependentes da sequência. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005.

HANSEN, P.; MLADENOVIC, N. Handbook of Metaheuristic, 1997.

HÖFELMANN, D.A; ANJOS, J.C. Autoavaliação de saúde e câncer de mama em mulheres de cidades do Sul do Brasil. Revista Brasileira de Cancerologia. 2012. 58(2): 209-222.

MACIEL, A. C.; MARTINHON, C. A.; OCHI, L. S. Heurísticas e metaheurísticas para o Problema do Caixeiro viajante branco e preto (2005). In: Anais do L Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO, Gramado. Disponível em: <http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2005/pdf/arq0086.pdf>. Acesso em maio de 2023.

MELO, V. A.; LEITE, L. S. B. S.; BOAVENTURA-NETTO, P. O. O uso de memória no VNS básico aplicado ao problema quadrático de alocação.. In: Anais do XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO, 2000.

NOGUEIRA, J. P. C. M. Heurísticas híbridas para o problema de programação de tarefas em máquinas paralelas não relacionadas com penalidades por antecipação e atraso. Viçosa, MG, 2011.

OLIVEIRA, J. W. Metaheurística Variable Neighborhood Search (VNS) e Variable Neighborhood Descent (VND) Aplicada na Distribuição de Combustíveis em Rede Multimodal. 2020. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

- PANTUZA JÚNIOR, G. (2016). Uma abordagem multiobjetivo para o problema de sequenciamento e alocação de trabalhadores. *Gestão & Produção*, 23(1), 132–145. doi:10.1590/0104-530x1432-14.
- SOUZA, M. J. F. et al. Localização de mamógrafos: formulações e estudo preliminar de caso de Rondônia. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2019, Limeira. Anais eletrônicos - Campinas, Galoá, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbpo/sbpo-2019/trabalhos/localizacao-de-mamografos-formulacoes-e-estudo-preliminar-de-caso-de-rondonia?lang=pt-br>>. Acesso em abril de 2023.
- SOUZA, M. J. F. *Inteligência Computacional para Otimização: metaheurísticas*. Departamento de Computação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Minas Gerais, 2022. Disponível em <http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/Disciplinas/InteligenciaComputacional/InteligenciaComputacional.pdf>. Acesso em abril de 2023.