

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

Leonardo Isaac Silva Flores

**ALOCÇÃO DE EQUIPES DO PROGRAMA
SAÚDE DA FAMÍLIA NO MUNICÍPIO DE
OURO PRETO**

Ouro Preto, MG
2019

Leonardo Isaac Silva Flores

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

Monografia I apresentada ao Curso de Ciência da Computação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Puca Huachi Vaz Penna

Coorientador: Marcone Jamilson Freitas Souza

Ouro Preto, MG
2019

Leonardo Isaac Silva Flores

ALOCAÇÃO DE EQUIPES DO PROGRAMA SAÚDE DA FAMÍLIA NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO

Monografia I apresentada ao Curso de Ciência da Computação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau em Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em Ouro Preto, 10 de julho de 2019.

Puca Huachi Vaz Penna
Universidade Federal de Ouro Preto
Orientador

Marcone Jamilson Freitas Souza
Universidade Federal de Ouro Preto
Coorientador

Aloísio de Castro Gomes Júnior
Universidade Federal de Ouro Preto
Examinador

André Luyde da Silva
Universidade Federal de Ouro Preto
Examinador

Espaço para prestar uma homenagem ou dedicar o trabalho a alguém.

Agradecimentos

Espaço para agradecer às pessoas e/ou instituições que contribuíram de forma relevante à elaboração do trabalho.

Alguma citação importante para a construção do trabalho. A fonte deve ser indicada e também deve constar na lista de referências bibliográficas.

Resumo

Tendo por objetivo oferecer às famílias serviços de saúde preventiva e curativa, o Programa de Saúde da Família é formado por equipes de profissionais da saúde responsáveis pela atenção primária de famílias e determinadas áreas de um município. A Secretaria de Saúde de Ouro Preto atualmente trabalha com nove equipes de saúde da família, com possibilidade de ampliação para mais quatro equipes. Definir a localização dessas equipes, suas respectivas regiões de atendimento e as microáreas de cada unidade na cidade é uma tarefa atribuída à Secretaria de Saúde de Ouro Preto e atualmente é feita sem a ajuda de qualquer recurso computacional. Este trabalho modela e otimiza a programação dessas equipes e a localização dos PSF's na cidade de Ouro Preto, sob a perspectiva dos modelos das p-medianas e dos p-centros.

Palavras-chave: programa de saúde da família. p-medianas. p-centros. otimização.

Abstract

With the purpose of offering families preventive and curative health services, the Family Health Program is composed by teams of health professionals, that are responsible for the primary care of families and certain areas of a city. The Secretary of Health of Ouro Preto currently works with nine family health teams, with expansion possibility to four more teams. Defining the location of these teams, their respective service areas and the micro areas of each unit in the city is a task assigned to the Secretary of Health of Ouro Preto and is currently made without the help of any computational resource. This paper models and optimizes the programming of these teams and the location of PSF's in the city of Ouro Preto, from the perspective of the p-median and p-center problem models.

Keywords: family health, p-medians, p-centers.

Lista de Ilustrações

Figura 4.1 – Mapeamento original das microáreas de Ouro Preto	15
Figura 4.2 – Realocação dos PSF's, sob 9-medianas	17
Figura 4.3 – Realocação dos PSF's, sob 11-medianas	18
Figura 4.4 – Realocação dos PSF's, sob 12-medianas	20

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 – Relação entre PSF's e microáreas na distribuição original	16
Tabela 4.2 – Demonstração do resultado do algoritmo de distâncias com as primeira o PSF Alvorada	16
Tabela 4.3 – Relação entre a população fornecida e a estimativa realizada, para as primeiras cinco microáreas	16
Tabela 4.4 – Realocação dos PSF's, sob 9-medianas	18
Tabela 4.5 – Valores de função objetivo e tempos de execução para $p = 9$. Para $p = 10$, não há solução factível	18
Tabela 4.6 – Realocação dos PSF's, sob 11-medianas	19
Tabela 4.7 – Realocação dos PSF's, sob 12-medianas	19
Tabela 4.8 – Valores de função objetivo e tempos de execução para $p > 9$	19
Tabela 4.9 – Realocação dos PSF's, sob 9-centros	20
Tabela 4.10–Realocação dos PSF's, sob 12-centros	21
Tabela 5.1 – Cronograma de Etapas Futuras	22
Tabela A.1 – Estimativas das populações das microáreas	26

Lista de Algoritmos

3.1	Algoritmo para cálculo das distâncias entre as microáreas	10
-----	---	----

Lista de Abreviaturas e Siglas

ACS	Agente Comunitário de Saúde
BCO	Bee Colony Optimization
CCA	Colonial Competition Algorithm
CPMP	Capacitated P-Median Problem
GPS	Global Positioning System
GRASP	Greedy Randomized Adaptive Search Procedure
ILS	Iterated Local Search
IRMA	Iterated Reduction Metaheuristic Algorithm
MIP	Mixed Integer Programming
NP	Non-deterministic Polynomial
PL	Programação Linear
PSF	Programa de Saúde da Família
UPA	Unidade Pronto Atendimento
VNS	Variable Neighbourhood Search

Lista de Símbolos

\in	pertence
Σ	somatório
\forall	para todo

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Justificativa	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Organização do Trabalho	2
2	Revisão Bibliográfica	3
2.1	Trabalhos Relacionados	3
2.1.1	Programação de equipes de saúde	3
2.1.2	P - Medianas	3
2.1.3	P - Centros	6
2.2	Fundamentação Teórica	7
2.2.1	P - Medianas	7
2.2.2	P - Centros	8
3	Desenvolvimento	10
3.1	Algoritmo para cálculo de distâncias	10
3.2	Modelos de Programação Linear	11
3.2.1	P - Medianas	11
3.2.2	P - Centros	12
4	Resultados Computacionais	14
4.1	Coleta e Manipulação de dados	14
4.2	Ambiente de execução	16
4.3	Soluções encontradas	16
4.4	Análise das soluções	21
5	Considerações Finais	22
5.1	Conclusão	22
5.2	Etapas Futuras	22
	Referências	23
	Apêndices	25
	APÊNDICE A População estimada das microáreas	26

1 Introdução

Criado em 1994¹, o Programa Saúde da Família (PSF), é formado por equipes de profissionais da saúde responsáveis pela atenção primária de famílias de determinadas áreas de um município. Instituído por Lei Federal², o Programa é mantido por parceria entre as diversas instâncias do poder público e instalado em regionais das cidades brasileiras.

O objetivo do Programa é oferecer às famílias serviços de saúde preventiva e curativa, que resultam em melhorias importantes nas condições de saúde da população, evitando os altos custos envolvidos no tratamento de uma doença já instalada.

Os PSFs são organizados em unidades que atendem à conjuntos de microáreas, onde cada uma possui demanda e o conjunto de para formação da unidade tem capacidade máxima fixada, por lei, em 4 mil habitantes, embora o ideal é que elas atendam cerca de 3 mil pacientes (habitantes). Determinar quais microáreas podem ser locais de alocação de PSFs é um problema difícil de se realizar manualmente, devido à quantidade de variáveis de decisão e restrições que se aplicam.

1.1 Justificativa

A Secretaria de Saúde de Ouro Preto atualmente trabalha com nove equipes de saúde da família dentro da sede, com possibilidade de ampliação da rede de atendimento em mais quatro equipes para atender todo município. Além dos 09 PSFs da sede, os distritos contam com mais oito equipes, mas por atenderem distritos específicos, estes não fazem parte desse estudo.

Definir a localização das equipes dos PSFs, suas respectivas regiões de atendimento de cada unidade - as microáreas, que são formadas por conjuntos de ruas e tem um Agente comunitário de Saúde como responsável, é uma tarefa atribuída à equipe de Atenção Primária da Secretaria de Saúde. Atualmente, essa tarefa é realizada em planilhas sem a ajuda de qualquer recurso computacional. As alocações das equipes e agendas dos agentes comunitários de saúde (ACS) são elaboradas considerando apenas fatores que podem ser verificados pela equipe, sem a análise de viabilidade da decisão tomada.

O problema de alocação de equipes para o Programa envolve diversas variáveis e se torna complexo ao se buscar por uma situação ótima. Redefinir as regiões e microáreas, são foco deste trabalho. Serão utilizadas técnicas de pesquisa operacional a fim de alcançar o objetivo final.

¹ História da Criação do PSF no Brasil. 2019. <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/medicina/historia-da-criacao-do-psf-no-brasil/15772>. Acessado em abril de 2019.

² Legislação do PSF. 2019. http://www.ccs.saude.gov.br/saudebateaporta/mostravirtual/legislacao_psf.html. Acessado em abril de 2019.

A elaboração de um modelo computacional para resolução do problema visa agilizar o processo de alocação de equipes, melhorar a cobertura regional do PSF de acordo com a demanda de cada área, e melhorar o aproveitamento do tempo de atendimento disponível das equipes e descartar alocações inviáveis.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo a adaptação de modelos de programação linear para resolver o problema de alocação de equipes dos PSFs na sede do município de Ouro Preto. Para isso, se faz necessário estudo da atual situação do planejamento das equipes dos PSFs, levantamento de informações detalhadas sobre o funcionamento do programa de acordo com a legislação e análise dos dados para a definição dos modelos apropriados para alocação de equipes dentro da cidade. Tal estudo visa melhorias nos seguintes aspectos do programa:

- alocação eficiente dos PSF, com possibilidade de ampliação das equipes;
- melhor alocação das equipes de acordo com a demanda de cada área;
- remanejamento das microáreas, a fim de minimizar o deslocamento da equipe e dos pacientes;
- acabar com os pontos de apoio, propondo a instalação de novos PFS's;
- propor cenários com estimativas de dados mais atualizados.

De acordo com a proposta deste trabalho, tal estudo visa ainda viabilizar um melhor rendimento das equipes do PSF, gerando, em larga escala, economia de recursos públicos e, principalmente, a melhoria no atendimento preventivo ao paciente.

1.3 Organização do Trabalho

O restante deste trabalho está estruturado da seguinte forma. No Capítulo 2 faz-se uma revisão da literatura e identificação de trabalhos relacionados. O Capítulo 3 descreve a metodologia do trabalho, cujos resultados são apresentados no Capítulo 4. As conclusões são apresentadas no Capítulo 5.

2 Revisão Bibliográfica

Analisando a configuração atual dos PSF's no município de Ouro Preto é possível observar que existem situações que podem ser melhoradas afim de reduzir custos, como aqueles atrelados ao deslocamento dos habitantes e equipe. Os problemas p-medianas e p-centros serão abordados e relacionados com os PSFs, com mais detalhes desta relação sendo apresentadas na seção 2.2. Neste capítulo identifica-se os trabalhos relacionados à programação de equipes dos PSFs, abordagens da literatura para os dois problemas acima indicados, e apresenta-se uma definição formal de tais problemas, com a descrição de seus modelos de PL.

2.1 Trabalhos Relacionados

A seguir estão apresentados os trabalhos da literatura que de alguma forma estão relacionados a este trabalho, separados por assunto.

2.1.1 Programação de equipes de saúde

Borba (2010) propõe um modelo matemático para o problema de programação de equipes e distribuição de tarefas dos PSFs e das Unidade Pronto Atendimento, baseando-se em modelos similares, como o da Programação de Enfermeiros. O problema é *Non-deterministic Polynomial* - difícil e apresenta uma solução baseada na meta-heurística *Iterated Local Search* com busca local aleatória, que é aplicada a uma instância real de dados associados ao município de Betim, em Minas Gerais, conseguindo encontrar soluções viáveis com 18% de melhora em relação às soluções iniciais. Este é o único trabalho encontrado na literatura sobre modelos computacionais de programação de equipes de PSFs.

2.1.2 P - Medianas

O problema das p-medianas é bastante explorado na literatura, e existem situações no Brasil que já foram estudadas e modeladas sob essa perspectiva. Minimizar o deslocamento dos ACS, com novas formações para o PSF, pode ser modelado com o problema de p-medianas capacitado, onde o resultado fornecerá uma nova localização para os Postos de Saúde, considerando a menor distância para as microáreas que pertencerão à eles e a demanda de cada uma dessas áreas.

Oliveira et al. (2013) estuda e propõe um modelo de programação matemática para alocar seções eleitorais, um problema com características próprias que, segundo os autores, indicam a possibilidade de o tratarmos como um modelo teórico básico a ser aplicado em outras situações similares. É evidenciado que o problema é NP-difícil e que o modelo proposto apresenta dificuldades de estouro de memória e enorme tempo de execução por métodos exatos, razão

pela qual ele aplica a meta-heurística *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*, obtendo "resultados satisfatórios em tempo computacional aceitável para as instâncias trabalhadas". É derivado das p-medianas, e o objetivo reside em diminuir o número de seções eleitorais e a distância total de deslocamento de eleitores, podendo tornar o custo total das eleições mais barato.

Gurgel (2010) estuda o problema de localização de unidades policiais para uma melhor efetividade na segurança pública, propondo três modelos matemáticos para decidir o posicionamento das bases policiais. Um dos modelos propostos, que o autor chama de Modelo de Alocação e Roteirização de Novas Unidades Policiais, combina características da p-medianas e do caixeiro viajante, que buscam a configuração ideal para regiões ainda não atendidas pelas bases de apoio aos policiais. Além disso há o desenvolvimento de variações das p-medianas, sendo uma das grandes contribuições do trabalho, cuja viabilidade é testada numa situação real em Natal, apresentando significativa redução de custos. Farias, Magalhães e Onety (2016) estudam o problema de localização de Unidades Básicas de Saúde Fluvial em Manaus, que operam em viagens de barco para atender a população rural próxima aos rios Negro e Amazonas; objetivando aumentar o número de pessoas atendidas por viagem sem necessariamente aumentar o número de viagens. A solução se deu pela implementação de algoritmos de p-medianas e *Nearest Neighbours*, porém, devido à obstáculos como alagamento de rotas e altura variável dos rios, seria necessário um monitoramento por *Global Positioning System* para obter resultados precisos, o que não permitiu aos autores comparar as soluções dos algoritmos com as políticas de alocação em uso no momento, de maneira adequada. Encontra-se vários trabalhos que estudam formas de resolver modelos de p-medianas, muitos dos quais apoiam-se em abordagens híbridas.

Stefanello, Araújo e Müller (2015) baseiam-se na evolução dos resolvidores de modelos de Programação Inteira Mista (*Mixed Integer Programming*) para propor uma meta-heurística para o *Capacitated P-Median Problem*, chamada *Iterated Reduction Metaheuristic Algorithm*, que mistura heurísticas de busca local e técnicas de eliminação de variáveis para criar modelos reduzidos que são resolvidos por um *solver* de MIP. A implementação dos autores foi capaz de obter melhores soluções em menor tempo computacional para várias instâncias testadas.

Landa-Torres et al. (2012) foca nas abordagens evolutivas, e propõe dois algoritmos genéticos, o *Grouping Genetic Algorithm* e *Grouping Harmony Search*, sendo cada um hibridizado com uma busca local personalizada pensada especificamente para o cenário do CPMP considerado. As implementações se mostraram mais eficientes que quaisquer outras abordagens evolutivas conhecidas até o momento da publicação.

Díaz e Fernandez (2006) propõem heurísticas para o CPMP baseadas no algoritmo de *Scatter Search*, no algoritmo de Reconexão de Caminhos e na hibridização destes últimos, tendo sido usado o GRASP para a geração das soluções iniciais para todos esses métodos. Os autores mostram que o *Scatter Search* possui desempenho melhor que a Reconexão de Caminhos, mas este último melhora o desempenho do *Scatter Search* quando aplicado antes dele, visto que refina o conjunto de referência inicial ao qual ele será executado. Os métodos apresentados se

mostraram eficientes tanto na qualidade das soluções quanto no tempo computacional gasto, quando comparado com abordagens anteriores.

Yaghini, Karimi e Rahbar (2013) combinam uma estrutura de vizinhança de corte de planos com a meta-heurística Busca Tabu para resolver o CPMP. Tal estrutura baseia-se em fechar uma mediana previamente selecionada para gerar um modelo de PL com restrições flexibilizadas, cuja solução, dada por um resolvidor, será considerada um vizinho. Também apresentam estratégias, que trabalham bem com a Busca Tabu, para selecionar essas medianas. Os testes realizados pelos autores mostraram que as soluções encontradas são melhores que as fornecidas pelo melhor método até a publicação do artigo, o B&P.

Rahmani e MirHassani (2014) aplica o Algoritmo do Vaga-lume (inspirado no padrão de comunicação dos vaga-lumes com luz) junto com um algoritmo genético padrão e o aplica a um problema similar, que não determina uma capacidade máxima para as localidades. Os autores constatarem que a abordagem possui o mesmo desempenho que o resolvidor CPLEX para instâncias pequenas, porém se mantém escalável para instâncias grandes, e que abre espaço para muitas pesquisas futuras, como por exemplo, aumentar a qualidade das soluções removendo a aleatoriedade.

Lopes, Ferreira e Santos (2016) propõem um algoritmo genético híbrido que utiliza dois métodos de busca local elaborados pelo trabalho, como abordagem ao problema capacitado de roteamento de localidade, que combina dois problemas de decisão: alocar as facilidades e determinar as rotas de distribuição. Os testes mostraram que, embora simples, tal método fornece soluções de qualidade competitiva em tempo de computação razoável.

Herda (2017) apresenta dois algoritmos genéticos distribuídos para o CPMP, objetivando extrair o máximo poder dos *clusters* de alto desempenho da computação distribuída. O primeiro algoritmo divide o trabalho entre os nodos de computação isoladamente, de maneira que cada um tenha parâmetros de probabilidade diferentes, e recupera as melhores soluções de cada nodo após uma hora, onde elas são mescladas para fornecer uma solução final. O segundo algoritmo estabelece um meio de comunicação entre os nodos, de modo que todo nodo forneça uma solução a um *nodo mestre* a cada centésima iteração e receba do nodo mestre uma solução melhorada de outro nodo a cada seiscentésima iteração. Os testes indicaram que o segundo algoritmo tem melhor desempenho que o primeiro, apesar dos custos adicionais de comunicação. Embora os algoritmos distribuídos não tenham alcançado as boas soluções de métodos presentes na literatura, os autores confirmaram que é vantajoso estudar técnicas específicas para o alto desempenho da computação distribuída ao invés de usá-la para força bruta.

Alizadeh et al. (2015) propõe um modelo de programação não-linear inteira mista para um problema similar, onde as demandas são estocásticas, isto é, são indeterminadas porque dependem de eventos aleatórios, neste caso obedecendo à distribuição de Bernoulli. O modelo é simplificado para uma versão linear e, utilizando instâncias de uma empresa real, foi resolvido com o LINGO. Porém, o resolvidor se mostra lento para instâncias grandes (dado que o problema

é NP-difícil), motivo pelo qual os autores aplicam um algoritmo genético padrão e um *Colonial Competition Algorithm*, que alcançaram boas soluções em tempo de computação razoável.

Fleszar e Hindi (2008) desenvolvem um algoritmo *Variable Neighbourhood Search* com busca local envolvendo uma descida de primeira melhora modificada, que identifica limites inferiores para evitar alguns movimentos não vantajosos, e dessa forma garantir uma busca por vizinhança mais efetiva e melhorando o VNS como um todo ao ser aplicado ao CPMP.

2.1.3 P - Centros

Com uma frequência bem menor que as p-medianas, o problema de p-centros também é alvo de estudo para aplicação em situações brasileiras, assim como alvo de estudo internacional. Aplicando o problema de p-centros à situação dos PSF's, teremos que as soluções então obtidas fornecerão uma nova alocação das unidades de atendimento, reduzindo de maneira geral a maior distância que um habitante tem de percorrer para alcançar uma unidade. Por se tratar de uma "minimização do máximo", o problema de p-centros é chamado de "minimax" por alguns autores.

Huang, Kim e Menezes (2010) adaptam o modelo de p-centros ao problema de alocação de facilidades em emergências de grande escala, devido ao fato de que durante tais emergências, a maior parte das unidades de saúde de uma cidade se sobrecarregam e deixam de conseguir responder às demandas. Nessa adaptação, uma nova hipótese é levada em consideração: que um nó possa falhar em responder a demanda. Os autores desenvolvem um algoritmo baseado em programação dinâmica para resolver o modelo, representando uma boa contribuição para esse tipo de problema, que é relevante para o campo da saúde.

Davidović et al. (2011) exploram a recente meta-heurística *Bee Colony Optimization*, inspirada em fenômenos biológicos envolvendo a aplicação de inteligência coletiva no processo de coleta de mel das abelhas, para resolver o problema de p-centros. Os autores focam numa versão melhorada da meta-heurística, não muito explorada na literatura, e mostram que ela pode ser uma excelente escolha para resolver difíceis problemas de otimização combinatória.

Davoodi, Mohades e Rezaei (2011) propõem uma versão não-determinística do Algoritmo Diagrama de Voronoi para resolver o problema de p-centros para um conjunto discreto de demandas. Os autores mostraram com os testes em unidades de emergência médica numa cidade iraniana, que o algoritmo é capaz de encontrar a solução ótima com alta probabilidade, embora não tenham conseguido definir a relação de complexidade entre os pontos de demanda e os centros.

Mladenović, Labbé e Hansen (2003) implementam um VNS e duas heurísticas de Busca Tabu para o problema de p-centros sem o conceito da desigualdade triangular, utilizando uma estrutura de vizinhança de substituição de vértice, mostrando que essa estrutura de vizinhança pode ser usada mais eficientemente para resolver este problema do que o problema das p-medianas.

2.2 Fundamentação Teórica

Como dito no início deste capítulo, os PSFs em Ouro Preto são unidades de saúde que atendem a um conjunto de microáreas, em que cada uma possui uma demanda específica (determinada pelo número de habitantes), e tais unidades possuem uma capacidade máxima, determinada pela legislação, em quatro mil habitantes. As microáreas do município de Ouro Preto, onde vivem os habitantes, podem ser entendidas como sendo os pontos de demanda (nodos), enquanto que as unidades dos PSFs podem ser vistas como sendo **centros** ou **medianas**, isto é, a facilidade que atende às demandas. Ao resolver um problema de p-medianas ou p-centros utilizando-se desta relação, temos que as soluções obtidas fornecerão uma nova alocação dessas unidades de atendimento, reduzindo de maneira geral a distância necessária que cada habitante tem de percorrer para alcançar uma unidade e o deslocamento da equipe que visita os pacientes. Para um melhor entendimento da metodologia empregada no Capítulo 3, define-se a seguir os problemas das p-medianas e p-centros.

2.2.1 P - Medianas

O problema das p-medianas é definido como sendo o problema de alocar p facilidades, denominadas medianas, para atender n pontos de demanda, denominados nodos, tal que a soma das distâncias entre um nodo e a mediana alocada mais próxima à ele seja mínima. Na versão capacitada do problema (CPMP), as medianas possuem uma capacidade máxima que deve ser respeitada.

Formalmente, como proposto por Herda (2017), seja $G = (V, A)$ um grafo um ponderado. Os nodos são representados por vértices $v_i \in V$ e cada nodo é um candidato a se tornar mediana. As distâncias entre os nodos são representadas pelos pesos das arestas $(v_i, v_j) \in A$. Dado os seguintes parâmetros:

n o número de vértices em G

p o número de facilidades (medianas) que precisam ser alocadas

c_i a demanda do nodo v_i , onde $i = 1, \dots, n$

d_{ij} a menor distância entre v_i e v_j , onde $i, j = 1, \dots, n$

k_j a capacidade da mediana alocada em v_j , onde $j = 1, \dots, n$. Geralmente a capacidade de todas as medianas é a mesma;

e as seguintes variáveis de decisão:

x_j 1 se há uma mediana alocada no vértice v_j , 0 caso contrário.

$y_{ij} = 1$ se há demanda do nodo v_i sendo atendida pela mediana alocada em v_j , 0 caso contrário;

o problema das p-medianas pode ser definido pelo seguinte modelo:

$$\text{minimizar} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} y_{ij} \quad (2.1)$$

$$\text{sujeito à} \quad \sum_{j=1}^n y_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j = p \quad (2.3)$$

$$y_{ij} \leq x_j \quad i, j = 1, \dots, n \quad (2.4)$$

$$\sum_{i=1}^n c_i y_{ij} \leq k_j \quad j = 1, \dots, n \quad (2.5)$$

$$x_i, y_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (2.6)$$

A função objetivo (2.1) minimiza a soma das distâncias entre cada nodo e sua mediana alocada. A restrição (2.2) garante que cada nodo está sendo atendido por alguma mediana. (2.3) Garante que exatamente p medianas são alocadas. (2.4) Determina que não é possível satisfazer demanda onde não há mediana alocada. (2.5) Garante que as capacidades são respeitadas e (2.6) estabelece o domínio das variáveis de decisão.

2.2.2 P - Centros

O problema dos p-centros é definido como sendo o problema de alocar p facilidades, denominadas centros, para atender n pontos de demanda, denominados nodos, tal que a distância máxima entre um nodo e seu centro alocado seja mínima. Em algumas versões do problema, é possível estabelecer uma preferência em atender algumas demandas em relação à outras.

Formalmente, tome a mesma descrição do grafo G apresentada na descrição das p-medianas. Renomeando alguns termos para uma melhor analogia com a descrição anterior, segue a descrição do problema dos p-centros como proposto por [Current et al. \(2002\)](#). Dados os seguintes parâmetros:

c_i a demanda do nodo v_i , $i = 1, \dots, n$

d_{ij} distância entre o nodo v_i e o centro alocado em v_j , $i, j = 1, \dots, n$;

e as seguintes variáveis de decisão:

$x_j = 1$ se um centro é alocado em v_j , com $j = 1, \dots, n$; 0 caso contrário

$y_{ij} = 1$ se a demanda do nodo v_i é atribuída ao centro em v_j , com $i, j = 1, \dots, n$; 0 caso contrário

W a distância máxima entre um nodo e o centro a que está atribuído;

a solução ótima do problema dos p-centros é dada por:

$$\text{minimizar } W \quad (2.7)$$

$$\text{sujeito à } \sum_{j=1}^n x_j = p \quad (2.8)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, n \quad (2.9)$$

$$y_{ij} - x_j \leq 0 \quad i, j = 1, \dots, n \quad (2.10)$$

$$W - \sum_{j=1}^n c_j d_{ij} y_{ij} \geq 0 \quad i = 1, \dots, n \quad (2.11)$$

$$x_j, y_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, \dots, n \quad (2.12)$$

A função objetivo (2.7) minimiza a distância máxima entre cada nodo e seu centro atribuído. A restrição (2.8) garante que exatamente p centros serão alocados. (2.9) Garante que todo nodo é atendido por algum centro. (2.10) Determina que as demandas dos nodos só podem ser atendidos por centros alocados. (2.11) Define o limite inferior da maior distância calculada, que está sendo minimizada e (2.12) define o domínio das variáveis de decisão, e também garante que todo nodo seja atribuído a um único centro.

3 Desenvolvimento

Neste capítulo é apresentado a metodologia utilizada para encontrar a nova alocação de PSFs no município de Ouro Preto. Descreve-se os algoritmos e adaptações dos modelos de p-medianas e p-centros. Todos os algoritmos e modelos aqui descritos foram disponibilizados no repositório <<https://github.com/leoisf/monografia>>.

3.1 Algoritmo para cálculo de distâncias

Ao se calcular distância entre locais, é comum ver a fórmula de distância euclidiana empregada. No entanto, essa fórmula resulta num cálculo de distância em linha reta, que poderia ser percorrido por um avião, por exemplo. Para um cálculo mais realista do ponto de vista terrestre, faz-se necessário considerar a disposição das ruas, estradas e seus comprimentos. Tendo-se uma biblioteca de cálculo geométrico espacial, como a oferecida pelo *Google Earth*, formula-se o Algoritmo 3.1.

Algoritmo 3.1: Algoritmo para cálculo das distâncias entre as microáreas

Entrada: *computarComprimento(.)*, *tabelaPontos*

```

1 início
2   Inicializar a matriz  $D$  de dados
3   Atualizar  $D$  com os nomes e pontos de tabelaPontos
4    $n \leftarrow$  tamanho de tabelaPontos
5   para  $i \leftarrow 1$  até  $i = n$  faça
6     para  $j \leftarrow 1$  até  $j = n$  faça
7       se  $i = j$  então
8          $D[i][j] \leftarrow 0$ 
9       senão
10        se  $i > j$  então
11           $D[i][j] \leftarrow D[j][i]$ 
12        senão
13           $D[i][j] \leftarrow \text{computarComprimento}(i, j)$ 
14   retorna  $D$ 

```

O algoritmo inicializa uma matriz D com dados nulos e os atualiza conforme os nomes e pontos da tabela de pontos recebida como parâmetro. Sabendo que n é o tamanho da tabela de pontos, o algoritmo percorre dois laços aninhados de repetição de tamanho n para computar a distância real, através da biblioteca de cálculo geométrico espacial, entre os pontos e gravá-los na matriz D . Caso um ponto $(i, j); i > j$ precise ser computado, basta tomar o valor de (j, i) , pois a distância é uma relação simétrica. A distância de um ponto a si mesmo é sempre 0. O algoritmo

então retorna a matriz quadrada D com as distâncias reais entre os locais. Como a distância entre as microáreas é uma relação simétrica, a matriz de distâncias pode ser apresentada como uma matriz triangular superior.

3.2 Modelos de Programação Linear

Ao escrever um modelo de PL a ser resolvido por um *solver*, os modelos originais apresentados nas seções 2.2.1 e 2.2.2 são adaptados à situação dos PSF's do município.

3.2.1 P - Medianas

A adaptação do modelo em 2.2.1 para o contexto de PSF's é formalizada a seguir. Seja M o conjunto das 57 microáreas. Dados os seguintes parâmetros:

n o número de microáreas, ou seja, $n = |M|$

d_{ij} a distância real entre as microáreas i e j , $\forall i, j \in M$

p o número de PSF's a serem alocados

D_i a demanda (número de pacientes) da microárea i , $\forall i \in M$

e as seguintes variáveis de decisão:

x_{ij} 1 se a microárea i é associada ao PSF j , $\forall i, j \in M$; 0 caso contrário.

y_j 1 se a microárea j é a sede de um PSF, $\forall j \in M$; 0 caso contrário.

a melhor alocação será dada por:

$$\text{minimizar} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \quad (3.1)$$

$$\text{sujeito à} \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \in M \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = p \quad (3.3)$$

$$\sum_{j=1}^n D_j x_{ij} \leq 4000 \quad \forall i \in M \quad (3.4)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j \in M \quad (3.5)$$

$$x_{ij}, y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in M \quad (3.6)$$

A função objetivo (3.1) minimiza o somatório das distâncias entre as microáreas e os PSF's. A restrição (3.2) garante que toda microárea está associada a um único PSF, (3.3) garante que a quantidade de PSF's é respeitada, (3.4) garante que nenhum PSF atenderá mais pacientes que o permitido por lei, (3.5) impõe que só pode haver atribuição de microárea a um PSF alocado e (3.6) define o domínio das variáveis de decisão.

3.2.2 P - Centros

A adaptação do modelo em 2.2.2 para o contexto de PSF's é formalizada a seguir. Seja M o conjunto das 57 microáreas. Dados os seguintes parâmetros:

n o número de microáreas, ou seja, $n = |M|$

d_{ij} a distância real entre as microáreas i e j , $\forall i, j \in M$

p o número de PSF's a serem alocados

D_i a demanda (número de pacientes) da microárea i , $\forall i \in M$

e as seguintes variáveis de decisão:

x_{ij} 1 se a microárea i é associada ao PSF j , $\forall i, j \in M$; 0 caso contrário.

y_j 1 se a microárea j é a sede de um PSF, $\forall j \in M$; 0 caso contrário.

DistMax a distância máxima entre uma microárea e a sede do PSF associado.

a melhor alocação será dada por:

$$\text{minimizar} \quad \text{DistMax} \quad (3.7)$$

$$\text{sujeito à} \quad d_{ij}x_{ij} \leq \text{DistMax} \quad \forall i, j \in M \quad (3.8)$$

$$\sum_{j=1}^n D_j x_{ij} \leq 4000 \quad \forall i \in M \quad (3.9)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall j \in M \quad (3.10)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j = p \quad (3.11)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j \in M \quad (3.12)$$

$$x_{ii} = y_i \quad \forall i \in M \quad (3.13)$$

$$x_{ij}, y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in M \quad (3.14)$$

A Função Objetivo (3.7) minimiza a distância máxima entre as microáreas e os PSF's. A restrição (3.8) atribui o valor de DistMax. (3.9) Garante que nenhum PSF ultrapassará o limite estabelecido. (3.10) Garante que toda microárea está associada a um único PSF. (3.11) Garante que p PSF's serão alocados. (3.12) Garante que só haverá atribuição de microárea a PSF's alocados. (3.13) Garante que toda sede é atendida pelo PSF locado em si própria (3.14) define o domínio das variáveis de decisão. O domínio de DistMax não precisa ser definido já que é limitado inferiormente pelas distâncias entre as microáreas, que nunca será negativa.

4 Resultados Computacionais

Neste capítulo são apresentados todos os resultados alcançados no trabalho, através da metodologia apresentada no capítulo 3. Os modelos descritos nas seções 2.2.1 e 2.2.2 e adaptados na seção 3.2 foram implementados e resolvidos pelo *solver* LINGO.

4.1 Coleta e Manipulação de dados

A Secretaria de Saúde do Município de Ouro Preto informou o conjunto de ruas que compõem as microáreas de cada PSF e as demandas das microáreas. A partir desses dados, foram traçados vários polígonos na ferramenta *Google Earth*, permitindo não só uma visualização do mapeamento de PSF's como também a possibilidade de se usar as diversas funcionalidades da ferramenta para obter informações geográficas. Dentro de cada microárea mapeada, foi calculada a sua mediana (a mediana do polígono) com o uso da ferramenta online *Earth Point*; uma planilha com as informações geográficas estão disponíveis no repositório informado no início do Capítulo 3. A Figura 4.1 e a Tabela 4.1 mostram esse mapeamento.

Na figura, as microáreas estão contornadas por cores variadas, agrupadas pelas regiões dos PSF's, que estão contornados em tons de azul. Os alfinetes verdes indicam as unidades de atendimento dos PSF's. Na tabela, informa-se os nomes das áreas, qual microárea é a sede da unidade do PSF e quais microáreas pertencem a tal PSF. Também indica-se a população atribuída ao atendimento de cada PSF. Note que o PSF da Bauxita não possui uma microárea associada, pois se localiza no Campus Universitário do Morro do Cruzeiro; que os PSF's da Alvorada e Renascer têm a sede no mesmo lugar e que a demanda atendida pelo PSF da Alvorada já ultrapassa o limite estabelecido.

Posteriormente, calculou-se as distâncias reais (em metros) entre os pontos médios das cinquenta e sete medianas com o Algoritmo 3.1, onde uma pequena parte dos resultados, com as cinco primeiras microáreas, é apresentada na Tabela 4.2. Nessas tabelas, o valor indica a distância entre as microáreas que rotulam a linha e a coluna. Por se tratar de uma relação simétrica, omite-se os dados redundantes para apresentar uma tabela em forma de matriz triangular superior. Como reforçado anteriormente, essa distância calculada não é a distância euclidiana, mas sim a distância real entre as microáreas com base nas ruas da cidade. Essa abordagem é interessante porque em Ouro Preto há bairros que apesar de vizinhos, não possuem uma conexão direta, sendo necessário passar por outros bairros para que um alcance o outro; e porque a distância que as pessoas percorrem (caminhando ou usando veículos terrestres) é a distância real e não a euclidiana.

De acordo com Censo Demográfico do IBGE de 2010, a população do distrito sede de

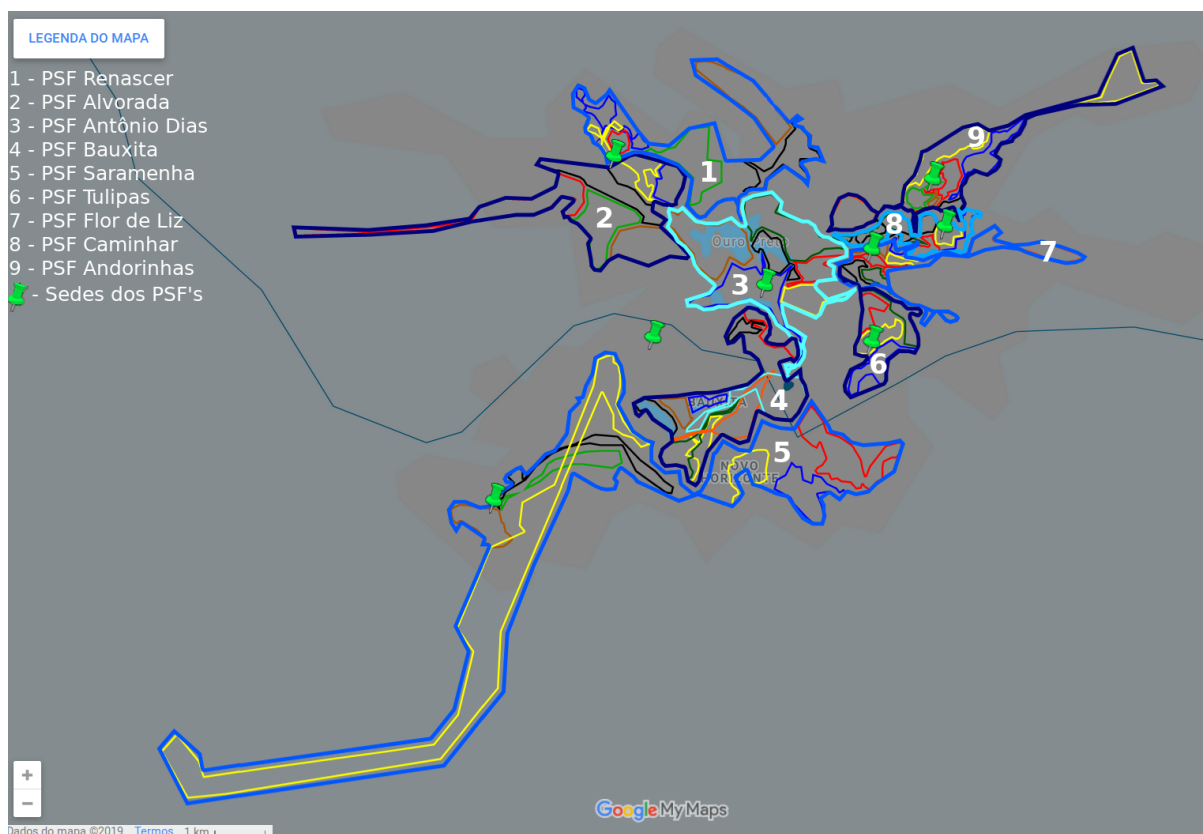


Figura 4.1 – Mapeamento original das microáreas de Ouro Preto

Ouro Preto é cerca de 40.916 habitantes, porém a soma das populações de demanda fornecidas pela Secretaria de Saúde é de 21.156 habitantes. Isso se deve à desatualização dos dados na Secretaria de Saúde do município. Para verificar se os resultados obtidos por este trabalho ainda se aplicam a cenários mais condizentes com a atualidade, foi realizada uma estimativa das populações das microáreas com base nos dados demográficos coletados pelo IBGE em 2010. Essa estimativa levou-se em conta a semelhança de perímetro e proximidade entre áreas demarcadas pelo IBGE e as áreas informadas pela Secretaria de Saúde, além de um aumento de 5% sobre as populações, que é o percentual do crescimento da população de Ouro Preto entre 2010 e 2018, também de acordo com os dados do IBGE. A Tabela 4.3 apresenta a diferença entre a população fornecida pelo órgão municipal e a estimativa realizada, para as primeiras cinco microáreas; os dados completos podem ser encontrados na Tabela A.1 do apêndice. É importante ressaltar que com os dados estimados, a população do distrito sede de Ouro Preto fica em 42.069, muito mais próximo do informado pelo IBGE (depois de aplicado o percentual de crescimento) do que os dados originais fornecidos.

É importante destacar que a cidade de Ouro Preto, por ser sede de um campus da Universidade Federal de Ouro Preto, possui muitos universitários residentes que não são contabilizados como habitantes pelo Censo Demográfico do IBGE. Essa situação pode sobrecarregar os PSF's mais próximos do Centro Histórico e da Bauxita, onde se concentram a maior parte desses estudantes.

Local	Sede	Microáreas	Demanda Atendida
Alvorada	m2	m1 a m6	4272
Andorinhas	m9	m7 a m13	581
Antônio Dias	m14	m14 a m19	2031
Bauxita	UFOP	m20 a m28	3127
Caminhar	m30	m29 a m33	1369
Flor de Liz	m36	m34 a m40	3075
Renascer	m2	m41 a m46	3806
Saramenha	m52	m47 a m53	2034
Tulipas	m57	m54 a m57	861

Tabela 4.1 – Relação entre PSF's e microáreas na distribuição original

	m1	m2	m3	m4	m5	m6
m1	0	862	2404	1264	1067	1126
m2	-	0	1911	1012	683	1134
m3	-	-	0	1524	1338	2202
m4	-	-	-	0	612	573
m5	-	-	-	-	0	865
m6	-	-	-	-	-	0

Tabela 4.2 – Demonstração do resultado do algoritmo de distâncias com as primeira o PSF Alvorada

	Pop. fornecida	Estimativa realizada
m1	819	865
m2	1788	988
m3	361	806
m4	756	436
m5	286	1001

Tabela 4.3 – Relação entre a população fornecida e a estimativa realizada, para as primeiras cinco microáreas

4.2 Ambiente de execução

O computador utilizado para executá-lo possui as seguintes especificações: Processador Intel®Core™i5-2450M CPU @ 2.50GHz, 6 GB de memória RAM.

4.3 Soluções encontradas

Para efeito de comparação, foram consideradas as instâncias com os dados fornecidos nos cenários para alguns diferentes valores de p , para a abordagem de p -medianas, utilizando-se a abordagem de p -centro como validação.

A Figura 4.2 e Tabela 4.4 mostra a realocação dos PSF's obtida com a execução do modelo de p -medianas, com $p = 9$. A primeira coluna da tabela indica as microáreas que foram

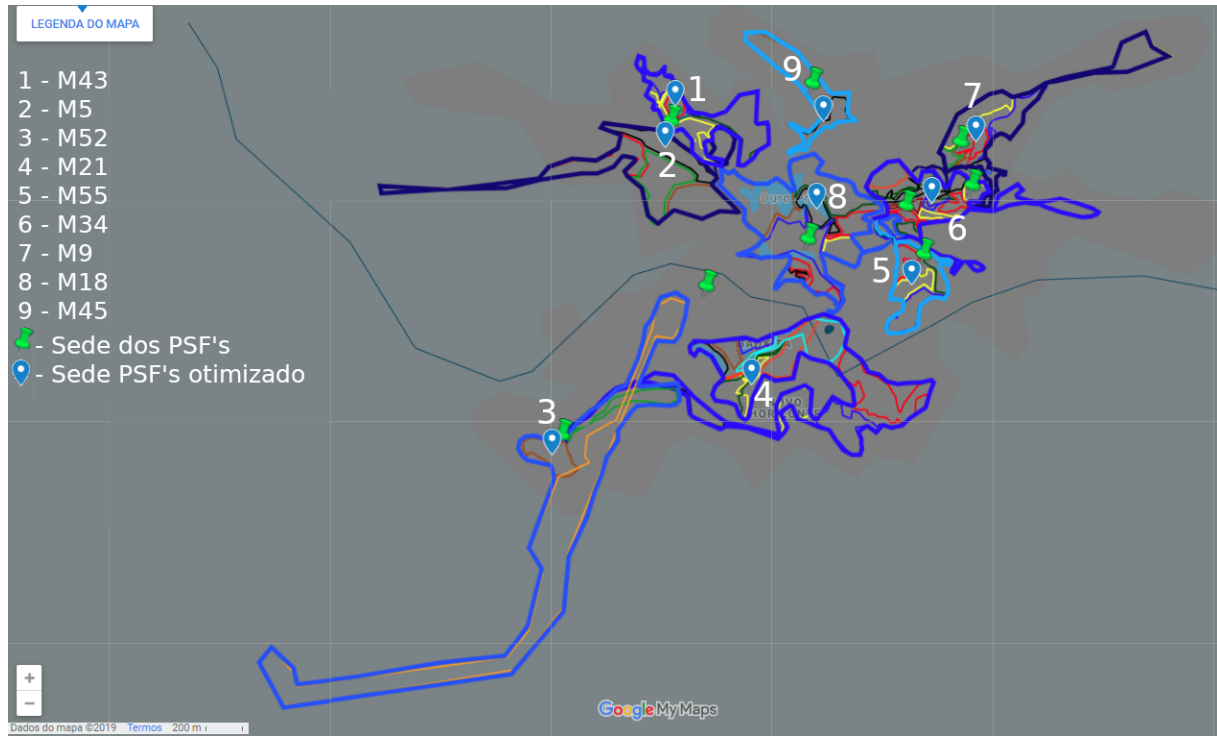


Figura 4.2 – Realocação dos PSF's, sob 9-medianas

alocadas como sede de um PSF pelo modelo descrito na Seção 3.2.1; e para cada uma, a linha indica quais microáreas foram atribuídas a tal sede do PSF e a demanda que ela deve atender de acordo a estimativa realizada para a população de 2019. O asterisco nessa coluna indica que a população se refere aos dados do Censo Demográfico do IBGE. A figura segue a mesma representação da Figura 4.1, mas agora com geo-marcadores em azul para indicar onde deveria ser a sede de cada PSF alocado. O resultado da função objetivo e o tempo de execução pode ser consultado na Tabela 4.5. A Figura 4.3 e a Tabela 4.6 mostra a realocação dos PSF's obtida com a execução do modelo de p -medianas, com $p = 11$.

O modelo de p -medianas executado com $p = 10$ não possui solução viável. Já com $p = 11$, a instância esbarra na NP-dificuldade do problema, rodando por mais de 1 hora sem fornecer a solução exata final. Por essa razão, os resultados apresentados com $p = 11$ são **aproximados**. Tendo isso em mente, apresenta-se a Tabela 4.8 com os valores de função objetivo obtidos e os tempos de execução. Os asteriscos próximos aos valores de função indicam que se trata de um limite superior, sem garantia de que seja a solução ótima, e os asteriscos próximos aos tempos de execução indicam que a execução foi interrompida. Como a execução com $p = 11$ não forneceu a solução exata, é apresentada a solução com $p = 12$ na Tabela 4.7 e na Figura 4.4.

O modelo de p -centros foi executado para $p = 9$ e $p = 12$, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 4.9 e 4.10, respectivamente; e as distâncias máximas encontradas são apresentadas nas Tabelas 4.5 e 4.8. Ambos os cenários executaram por mais de uma hora sem apresentar solução exata final, motivo pelo qual os valores são aproximados.

Sede	Microáreas	D. Atendida	D. Estimada
m5	m1, m3, m4, m5 e m6	2484	4655
m9	m7 a m12 e m29	751	3861
m18	m14 a m19, m22, m24 e m38	3347	7635
m21	m20, m21, m23, m25 a m28, m47 a m49 e m51	3737	7019
m34	m13, m30 a m37, m39 e m40	3587	8325
m43	m2 e m41 a m44	3786	4113
m45	m45 e m46	1808	1266
m53	m50, m52 e m53	795	2284
m55	m54 a m57	861	2911

Tabela 4.4 – Realocação dos PSF's, sob 9-medianas

Modelo	Valor de p	Valor de função objetivo	Tempo(s)
p-centros	9	4910	3607*
p-medianas	9	37739	4

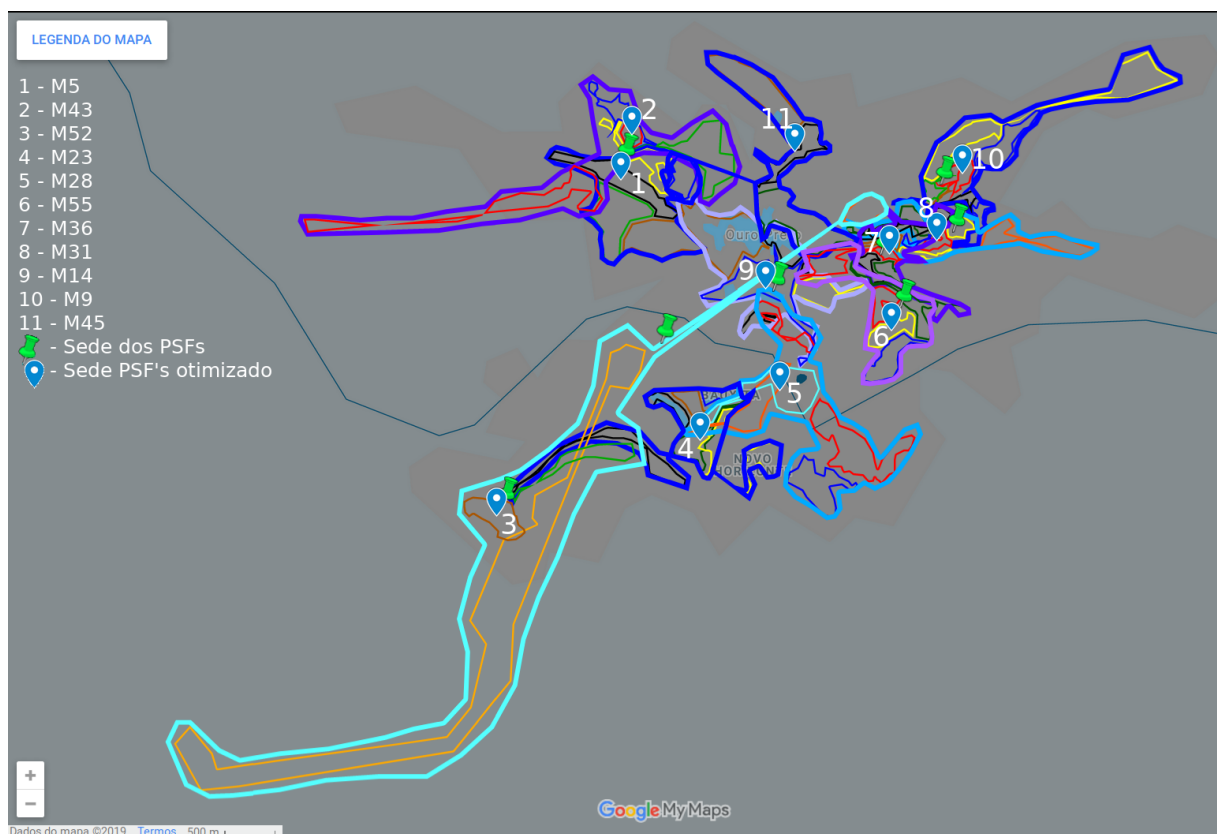
Tabela 4.5 – Valores de função objetivo e tempos de execução para $p = 9$. Para $p = 10$, não há solução factível

Figura 4.3 – Realocação dos PSF's, sob 11-medianas

Sede	Microáreas	D. Atendida*
m5	m2, m4, m5 e m6	3938
m9	m7 a m12 e m29	3861
m14	m14, m15, m18, m19 e m24	3842
m23	m20, m21, m23, m25, m27, m48 e m51	3949
m28	m22, m26, m28, m47 e m49	3988
m31	m30, m31, m32, m35 e m40	3846
m36	m33, m34, m36 a m39	3992
m43	m3 e m41 a m44	3922
m45	m1, m17, m45 e m46	3628
m52	m13, m50, m52 e m53	3177
m55	m16 e m54 a m57	3926
Soma	-	42069

Tabela 4.6 – Realocação dos PSF's, sob 11-medianas

Sede	Microáreas	D. Atendida*
m4	m3 a m6	3747
m9	m7 a m12 e m29	3861
m16	m15, m16, m18, m22, m24, m38	3910
m19	m1, m14, m19, m44	3825
m23	m20, m21, m23, m25, m26, m27, m51	3763
m31	m30, m31, m34, m35, m40	3902
m33	m13, m32, m33, m36, m39	3798
m43	m2, m41, m42, m43	3467
m45	m17, m45, m46	2720
m47	m28, m47, m48, m49	3256
m52	m50, m52, m53	2284
m55	m37 e m54 a m57	3536
Soma	-	42069

Tabela 4.7 – Realocação dos PSF's, sob 12-medianas

Modelo	Valor de p	Valor de função objetivo	Tempo (s)
p-medianas	10	sem solução viável	-
p-medianas	11	43595*	3606*
p-medianas	12	34217	87
p-centros	12	2732	3607*

Tabela 4.8 – Valores de função objetivo e tempos de execução para $p > 9$

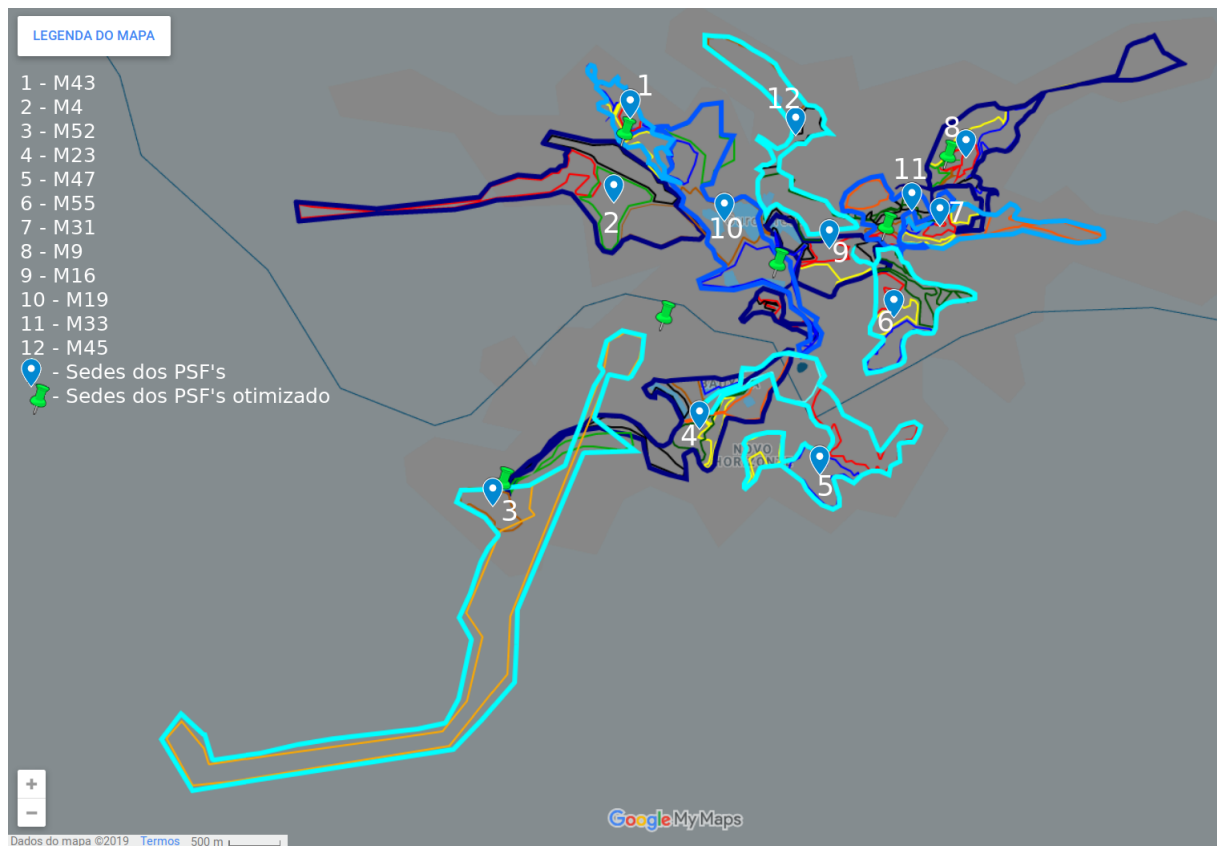


Figura 4.4 – Realocação dos PSF's, sob 12-medianas

Sede	Microáreas	D. Atendida
m3	m3, m5, m26, m41, m42	1929
m8	m8, m14, m38, m54, m56	1318
m12	m1, m6, m12, m28, m29, m31, m35, m44, m47, m55	3363
m13	m4, m11, m13, m16, m23, m25, m43, m45, m57	2983
m18	m18, m21, m27, m33, m34, m46, m48	3374
m19	m2, m7, m10, m17, m19, m32, m36	3696
m24	m9, m22, m24, m30, m37, m39, m40	2254
m50	m15, m49, m50, m51	1467
m53	m20, m52, m53	772
Soma	-	21156

Tabela 4.9 – Realocação dos PSF's, sob 9-centros

Sede	Microáreas	D. Atendida*
m3	m3, m6, m41, m42	3953
m18	m9, m13, m18, m43, m54	3705
m22	m5, m22, m27, m34, m47	3939
m23	m14, m15, m23, m48, m49	3923
m24	m4, m19, m20, m24, m44	3589
m31	m8, m10, m31, m56, m57	3713
m36	m7, m11, m12, m29, m35, m36, m40	3945
m38	m1, m16, m28, m37, m38	3942
m45	m2, m32, m39, m45, m46	3464
m50	m21, m25, m26, m50, m51, m53	3285
m52	m52	953
m55	m17, m30, m33, m55	3658
Soma	-	42069

Tabela 4.10 – Realocação dos PSF's, sob 12-centros

4.4 Análise das soluções

A situação atual, relativos aos dados fornecidos pela Secretaria de Saúde, é por si só uma solução não factível, pois há uma microárea ultrapassando o limite estabelecido. No caso do modelo de p -medianas, o cenário $p = 9$ possui um somatório de distâncias menor que o cenário $p = 11$ e o cenário de $p = 12$ possui um somatório menor que os dois anteriores, sendo que apenas $p = 12$ e $p = 11$ se mantêm factível para as estimativas realizadas, enquanto $p = 9$ não. É importante notar que no cenário $p = 11$ algumas microáreas estão *relativamente* distantes das sedes de seus PSF's associados, situação que acontece no cenário atual, fazendo com que alguns PSF's se interceptem e parecendo ser inevitável do ponto de vista logístico, a menos que se imponha uma restrição de distância máxima, que afetaria significativamente as soluções. Uma solução para esse problema seria dividir a microárea distante e incorporar os habitantes para outras microáreas mais próximas. Outro ponto a se observar é que para os três cenários, o PSF com sede na microárea 52 tem sua indicação de localidade coincidente com uma unidade de PSF que já existe atualmente, o que também acontece (apenas para $p = 11$) com o PSF que teria sede na microárea 36 e, apenas para $p = 12$, com o PSF que teria sede na microárea 9. Ter sedes coincidindo com unidades já existentes reduziria o custo de mudança no momento da reestruturação, o que tornaria estes cenários mais atrativos. No caso do modelo de p -centros, o cenário com $p = 12$ conseguiu reduzir para praticamente a metade do obtido no cenário com $p = 9$, sendo um indicativo de que a solução com 12 PSF's além de reduzir os somatório geral das distâncias também é capaz de reduzir a distância máxima de deslocamento possível; e portanto se tornando o melhor cenário dentre os avaliados.

5 Considerações Finais

5.1 Conclusão

Neste trabalho, abordou-se o problema de alocação das unidades de atendimento do Programa de Saúde da Família do município de Ouro Preto, que consiste em definir novas localizações para os PSF's e determinar as microáreas que cada um atende. Esse procedimento era realizado manualmente com o uso de planilhas pela Secretaria de Saúde do município e consequentemente não houve uma otimização logística no planejamento. Foram coletados os dados com a Secretaria de Saúde, onde se verificou que estavam desatualizados comparados com o Censo Demográfico do IBGE, onde uma nova versão estimada dos dados foi feita. Baseando-se nos problemas de p-medianas e p-centros, os dados foram transformados em instâncias que foram resolvidas com *solvers* de programação linear, obtendo novas alocações de PSF's e suas respectivas microáreas para os cenários, analisando-os do ponto de vista também as demandas estimadas. Os resultados mostraram que todas as soluções são melhores que a alocação utilizada atualmente pelo município, simplesmente por serem factíveis, que a solução obtida com 9-medianas é melhor que a de 11-medianas e a de 12-medianas melhor que a de 11-medianas, sendo que apenas o cenário de 9-medianas não se mantém viável nas estimativas de demandas para atualidade (2019); e que a solução de 12-centros é melhor que a de 9-centros, mostrando que uma realocação com 12 PSF's é a melhor opção para o município.

5.2 Etapas Futuras

A continuidade desse trabalho está prevista conforme o cronograma da Tabela 5.1

Etapa	mês
Levantamento de dados e nova revisão bibliográfica	1
Reexecutar modelos respeitando o limite de 750 para cada microárea	2
Aplicar o estudo considerando distritos da cidade	3
Escrita do documento	4

Tabela 5.1 – Cronograma de Etapas Futuras

Referências

- ALIZADEH, M. et al. A capacitated location-allocation problem with stochastic demands using sub-sources: An empirical study. *Applied Soft Computing*, Elsevier, v. 34, p. 551–571, 2015.
- BORBA, N.
Uma solução do problema de programação de equipes de saúde pública via metaheurísticas — Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, fev 2010.
- CURRENT, J. et al. Discrete network location models. *Facility location: Applications and theory*, Springer Berlin, v. 1, p. 81–118, 2002.
- DAVIDOVIĆ, T. et al. Bee colony optimization for the p-center problem. *Computers & Operations Research*, Elsevier, v. 38, n. 10, p. 1367–1376, 2011.
- DAVOODI, M.; MOHADES, A.; REZAEI, J. Solving the constrained p-center problem using heuristic algorithms. *Applied Soft Computing*, Elsevier, v. 11, n. 4, p. 3321–3328, 2011.
- DÍAZ, J. A.; FERNANDEZ, E. Hybrid scatter search and path relinking for the capacitated p-median problem. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 169, n. 2, p. 570–585, 2006.
- FARIAS, E. d. S.; MAGALHÃES, L. H. d. S.; ONETY, R. d. E. Geração de pontos estratégicos para unidades básica de saúde rural e otimização para atendimento da unidade básica de saúde fluvial do município de manaus. In: *Anais do XLVIII SBPO*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 2732 – 2742.
- FLESZAR, K.; HINDI, K. S. An effective vns for the capacitated p-median problem. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 191, n. 3, p. 612–622, 2008.
- GURGEL, A. M. *Melhoria da segurança pública: uma proposta para alocação de unidades policiais utilizando o modelo das p-medianas e do caixeiro viajante*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.
- HERDA, M. Parallel genetic algorithm for capacitated p-median problem. *Procedia engineering*, Elsevier, v. 192, p. 313–317, 2017.
- História da Criação do PSF no Brasil. 2019.
<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/medicina/historia-da-criacao-do-psf-no-brasil/15772>. Acessado em abril de 2019.
- HUANG, R.; KIM, S.; MENEZES, M. B. C. Facility location for large-scale emergencies. *Annals of Operations Research*, v. 181, n. 1, p. 271–286, Dec 2010.
- LANDA-TORRES, I. et al. A comparative study of two hybrid grouping evolutionary techniques for the capacitated p-median problem. *Computers & Operations Research*, Elsevier, v. 39, n. 9, p. 2214–2222, 2012.
- Legislação do PSF. 2019.
http://www.ccs.saude.gov.br/saudebateaporta/mostravirtual/legislacao_psf.html.
Acessado em abril de 2019.

- LOPES, R. B.; FERREIRA, C.; SANTOS, B. S. A simple and effective evolutionary algorithm for the capacitated location–routing problem. *Computers & Operations Research*, Elsevier, v. 70, p. 155–162, 2016.
- MLADENOVIC, N.; LABBÉ, M.; HANSEN, P. Solving the p-center problem with tabu search and variable neighborhood search. *Networks: An International Journal*, Wiley Online Library, v. 42, n. 1, p. 48–64, 2003.
- OLIVEIRA, F. M. de et al. Problema de localização de seções eleitorais e alocação de eleitores. In: *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*. [S.l.: s.n.], 2013.
- RAHMANI, A.; MIRHASSANI, S. A hybrid firefly-genetic algorithm for the capacitated facility location problem. *Information Sciences*, Elsevier, v. 283, p. 70–78, 2014.
- STEFANELLO, F.; ARAÚJO, O. C. de; MÜLLER, F. M. Matheuristics for the capacitated p-median problem. *International Transactions in Operational Research*, Wiley Online Library, v. 22, n. 1, p. 149–167, 2015.
- YAGHINI, M.; KARIMI, M.; RAHBAR, M. A hybrid metaheuristic approach for the capacitated p-median problem. *Applied soft computing*, Elsevier, v. 13, n. 9, p. 3922–3930, 2013.

Apêndices

APÊNDICE A – População estimada das microáreas

Tabela A.1 – Estimativas das populações das microáreas

Microárea	População fornecida	População estimada
m1	819	908
m2	1788	1037
m3	361	846
m4	756	457
m5	286	1051
m6	262	1393
m7	7	510
m8	14	834
m9	161	602
m10	49	602
m11	196	575
m12	93	423
m13	61	893
m14	58	1286
m15	501	578
m16	66	1015
m17	763	1454
m18	139	374
m19	504	985
m20	466	882
m21	502	556
m22	274	918
m23	4	533
m24	355	619
m25	168	496
m26	454	450
m27	535	394
m28	369	988
m29	231	315
Continua na próxima página		

Tabela A.1 – continuação da página anterior

Microárea	População fornecida	População estimada
m30	452	832
m31	326	834
m32	56	778
m33	304	1024
m34	480	834
m35	367	382
m36	529	720
m37	544	625
m38	687	406
m39	93	383
m40	375	1020
m41	362	1305
m42	466	409
m43	634	716
m44	536	646
m45	900	480
m46	908	786
m47	256	742
m48	506	636
m49	325	890
m50	489	694
m51	152	452
m52	208	953
m53	98	637
m54	292	1120
m55	104	348
m56	267	406
m57	198	1037