



OTIMIZAÇÃO UTILIZANDO A HEURÍSTICA DAS P -MEDIANAS PARA IDENTIFICAR LOCAIS PARA INSTALAÇÃO DE INSTITUTOS FEDERAIS NO ESTADO DE SANTA CATARINA

OPTIMIZATION USING THE P -MEDIAN HEURISTICS TO IDENTIFY LOCATIONS FOR FEDERAL INSTITUTES FACILITIES IN THE STATE OF SANTA CATARINA

 Silvio Aparecido da Silva¹

 Andréa Cristina Konrath²

 Antônio Cezar Bornia³

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. silvioest@gmail.com

² Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2008). Professora adjunta na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pertencendo ao Departamento de Informática e Estatística. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. andreak@gmail.com

³ Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina. professor titular da Universidade Federal de Santa Catarina, lotado no Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. cezar.bornia@gmail.com

Recebido em: 25 nov. 2019

Aprovado em: 13 fev. 2020

Cite como - American Psychological Association (APA)

Silva, S. A. da., Konrath, A. C., & Bornia, A. C., (2021, jan./mar.). Otimização Utilizando a Heurística das P -Medianas para Identificar Locais para Instalação de Institutos Federais no Estado de Santa Catarina. *Exacta*, 19(1), 150-165. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v19n1.15926>.

Resumo: O objetivo deste artigo é aplicar uma heurística para localização de p -medianas, no sentido de identificar os melhores locais para instalação de Institutos Federais no estado de Santa Catarina, de maneira a minimizar custos com transporte. Foram utilizados três cenários: o primeiro considera a população do estado de Santa Catarina, enquanto o segundo, o número de alunos que completaram o Ensino Fundamental e o Ensino Médio. Já o terceiro cenário considera a taxa de analfabetismo. A otimização foi feita por meio da heurística de Teitz e Bart das p -medianas. A heurística Teitz e Bart demonstrou ser uma excelente aproximação para o problema das p -medianas e apresentou um excelente resultado para tomada de decisão na administração pública.

Palavras-chave: Administração Pública. P -mediana. Heurística. Teitz e Bart. Otimização.

Abstract: The purpose of this article is to apply a heuristic for the localization of p -medians, as a mean to identify the best locations for Federal Institutes in the state of Santa Catarina, in order to minimize transportation costs. Three scenarios were used: the first considers the population of Santa Catarina state, while the second, the number of students who have completed the primary school and the high school. The third scenario considers the illiteracy rate. The optimization was done through the heuristic of Teitz and Bart of the p -medians. The Teitz and Bart heuristic has proved to be an excellent approach for the p -median problem and presented outstanding results for decision-making by the public administration.

Keywords: Public Administration. P -median. Heuristic. Teitz and Bart. Optimization.

1 Introdução

A verificação da localização de instalações é de suma importância para realizar uma boa gestão, seja ela no setor público ou privado. Se a localização for feita de forma adequada, esta trará o maior benefício social possível, maximizando o nível de serviço prestado (Daskin, 1995). Caso contrário, pode criar problemas de produtividade ou na prestação de serviços após sua execução (Randhawa & West, 1995; Romero, 2006).

No problema de localização, deseja-se estabelecer os locais nos quais serão encontradas facilidades para satisfazer, da melhor maneira possível, um conjunto espacialmente distribuído de pontos de demanda. Conforme Pizzolato, Raupp e Alzamora (2012), a localização de facilidades pode ser aplicada em diversas áreas. Dentre os diversos estudos que utilizaram o problema de localização, pode-se destacar: localização de centros de distribuição (Froes *et al.*, 2019; Calache & Camargo, 2016); planejamento de tráfico rodoviário (Camara *et al.*, 2016); unidades de saúde (Goudard *et al.*, 2015); e unidades educacionais (Garcia, 2015). Tratando-se da área de educação, ela pode auxiliar na diminuição do tempo de locomoção dos alunos até a escola, na redução de gastos com transporte e em maior satisfação dos servidores (Garcia, 2015).

Diversas técnicas de modelagem são conhecidas como modelos de pesquisa operacional, que são utilizados para analisar sistemas reais, por meio de técnicas matemáticas, objetivando a determinação da melhor solução para o sistema representado.

Um modelo para localização de centralizadores pode ser formulado como um problema de p -medianas, no qual, definida a variável custo e a quantidade de p -medianas desejada, e assumindo a variável de decisão como binária, o modelo define a melhor configuração para sua localização em relação aos outros elementos analisados. Assim, o problema de p -medianas é um problema tradicional de localização, e tem o objetivo de minimizar o somatório das distâncias entre cada nó de demanda e a mediana mais próxima (Hakimi, 1964, 1965).

No que tange à área educacional, para a qual existem diferentes cenários que são considerados complexos de gerir, existe uma necessidade de utilizar métodos adequados e confiáveis (Garcia, 2015). Neste sentido, o objetivo principal deste trabalho é aplicar uma heurística para localização de p -medianas, no sentido de identificar os melhores locais para instalação de Institutos Federais no estado de Santa Catarina, de forma que atenda às localidades com o menor custo (distância) possível, dado que, para cada região, existe uma demanda diferente, o que impacta diretamente no custo de transporte, e uma variável selecionada, que atuará como peso para melhor decisão.

Deste modo, foram propostos três cenários para as diferentes demandas. O primeiro modelo considera a população, o segundo considera alunos formando-se no Ensino Fundamental mais os alunos formando-se no Ensino Médio, e o terceiro modelo que considera a quantidade de analfabetos. Para cada cenário, duas novas localidades foram solicitadas, ou seja, supondo que os Institutos tenham orçamento para abrir duas novas unidades, buscou-se identificar quais seriam as cidades escolhidas.

2 Desenvolvimento

2.2 Instituto Federal

Os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia foram criados por meio da Lei Federal nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008, que instituiu todos os Institutos Federais no Brasil, e têm como principais metas: a manutenção de pelo menos 50% de matrículas no ensino técnico de nível médio; manutenção de pelo menos 20% de matrículas em cursos de licenciaturas e de formação de professores; e o compromisso da oferta de curso do Programa Nacional de Integração da Educação Profissional com a Educação Básica, na Modalidade de Educação de Jovens e Adultos PROEJA (técnico e FIC), na perspectiva de promover a inclusão e atender a demanda regional. O estado de Santa Catarina possui dois Institutos Federais, denominados: Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) e o Instituto Federal Catarinense (IFC), os quais estão espalhados em diferentes cidades.

O IFSC é formado por 23 campi espalhados por todo o estado de Santa Catarina, com um total de 45.192 matrículas atendidas e um quadro funcional de 2.579 servidores entre professores e técnicos no ano de 2017 (Instituto Federal de Santa Catarina [IFSC], 2018). O IFC é formado por 15 campi, espalhados por todo o estado de Santa Catarina, com um total de 18.006 matrículas atendidas e um quadro funcional de 1.910 servidores entre professores e técnicos no ano de 2017 (Instituto Federal Catarinense [IFC], 2018).

2.3 O Problema da p -Mediana

Atualmente, os problemas de localização têm diversas aplicações, que vão da simples localização de um depósito, fábrica, escola ou posto policial, passando pela localização de antenas, centrais telefônicas, estações de tratamento de água, até a localização de roteadores em redes de computadores (Horner, 2009).

O problema da localização de p -medianas tem o objetivo de localizar p facilidades, de tal forma que a distância entre estas p instalações e os n locais de demanda seja minimizada. Observa-se que não se trata de um caso emergencial, mas sim de minimização das somas das distâncias percorridas (Larson & Odoni, 1981). A primeira formulação do problema de p -mediana é apresentada por Hakimi (1964). O problema das p -medianas formulado por Christofides (1975) consiste em um problema de programação inteira binária (PIB), da seguinte forma:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

sujeito à:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ii} = p, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq x_{ii} \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, (i = 1, 2, \dots, n)(j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

Em que a variável custos (ou distâncias) é dada por c_{ij} , com $c_{ii} = 0$ para todo $i \in n$; a variável x_{ij} é definida como de alocação, com $x_{ij} = 1$ se o nó j é alocado à mediana i , e $x_{ij} = 0$; caso contrário, p é o número de medianas e n é o número de nós; e para este modelo é considerada a variável de peso w_i , associado ao vértice i .

As restrições (2) e (4) garantem que cada nó j é alocado a apenas um nó i , o qual deve ser uma mediana. A restrição (3) determina o número exato de medianas a ser localizado e a restrição (5) corresponde às condições de integralidade.

Mesmo com os avanços, na área de informática, dedicados à solução de problemas de programação matemática, esta formulação do problema das p -medianas é de difícil solução, necessitando procedimentos heurísticos para sua resolução. A heurística de Teitz e Bart (1968) tem apresentado bom desempenho para a resolução deste tipo de problema.

2.4 Heurística de Teitz e Bart

Goldbarg e Luna (2000) definem a heurística como: “uma técnica que busca alcançar uma boa solução utilizando um esforço computacional considerado aceitável, sendo capaz de garantir a viabilidade ou a otimalidade da solução encontrada ou, ainda em muitos casos, ambas, especialmente nas ocasiões em que essa busca partir de uma solução viável próximo ao ótimo”. (Goldbarg & Luna, 2000, p. 244)

A heurística das p -medianas de Teitz e Bart é baseada na substituição de vértices e seu objetivo é, a partir de uma solução inicial, melhorar o valor da função objetivo a cada iteração. A implementação computacional desta heurística é fácil e produz soluções satisfatórias para os problemas de localização de facilidades. Chama-se de número de transmissão do vértice v_i , representado por $\sigma(v_i)$, a soma das menores distâncias existentes entre o vértice v_i e todos os outros vértices v_j do grafo. Sendo n o número total de vértices do grafo, o número de transmissão $\sigma(v_i)$ é dado por:

$$\sigma_0(v_i) = \sum_{v_j \in V} w_j d(v_i, v_j) \quad (6)$$

Onde $d(v_i, v_j)$, é a menor distância entre os vértices v_i e v_j , w_i é o peso associado ao vértice v_i .

Escolhe-se, inicialmente, p vértices para formar um conjunto S inicial, o qual é considerado uma aproximação do conjunto V das p -medianas. Sendo V o conjunto de todos os vértices do grafo, verifica-se se qualquer vértice v_i pertencente ao conjunto $V-S$ pode-se substituir um vértice v_j pertencente a S e produzir um novo conjunto S' , em que

$$S' = S \cup \{v_i\} - \{v_j\} \quad (7)$$

para o qual o número de transmissão $\sigma(S') < \sigma(S)$. Se isto for possível, é feita a substituição de v_j por v_i e S' é uma nova aproximação para o conjunto S . O processo continua até obter-se um conjunto S , em que nenhuma substituição de vértice de S por outro em $V-S$ produz um número de transmissão menor.

Os passos do algoritmo são os seguintes:

Passo 1. Selecione um conjunto S , com $|S| = p$ para formar uma aproximação inicial para as p -medianas;

Passo 2. Rotule todos os vértices v_j pertencente a $V-S$ como não analisados;

Passo 3. Enquanto existirem vértices "não analisados" em $V-S$. Faça:

a) Selecione um vértice v_j pertencente a $V-S$ "não analisado", e calcule a redução Δ do número de transmissão, para todo v_j pertencente a S , tal que:

$$\Delta_{ij} = \sigma(S) - \sigma(S \cup \{v_i\} - \{v_j\}) \quad (8)$$

b) Faça $\Delta_{j0} = \max[\Delta_{ij}]$;

c) Se $\Delta_{j0} > 0$, faça $S = S \cup \{v_i\} - \{v_j\}$ e rotule v_j como analisado;

d) Se $\Delta_{j0} > 0$, rotule v_i analisado.

Passo 4. Se durante a execução do Passo 3 houver algumas modificações no conjunto S , volte ao Passo 2. Caso contrário, pare e apresente o conjunto S como uma aproximação para a solução do problema das p -medianas.

3 Material e método

Este trabalho pode ser considerado uma pesquisa aplicada, conforme definido por Barros e Lehfeld (2000) e Gil (2017), pois tem a finalidade de desenvolver conhecimentos mediante a aplicação prática, bem como a resolução de problemas encontrados na realidade.

Os dados da localização dos Institutos Federais do estado de Santa Catarina foram coletados no site da própria instituição. Foram contabilizados 23 *campi* do IFSC, localizados em 22 cidades diferentes, e 15 *campi* do IFC, localizados em 15 cidades diferentes, totalizando 35 cidades com

Institutos Federais em Santa Catarina.

A população residente por cidade do Estado, estimada no ano de 2015, foi obtida no site do IBGE com data de referência de 1 de julho de 2015, (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2015a). A população de alunos no último ano do Ensino Médio e alunos no último ano do Ensino Fundamental (formandos) foi obtida nos dados do censo educacional de 2012, realizado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira [INEP] (2012). A taxa de analfabetismo por cidade foi calculada utilizando a taxa de alfabetização de pessoas de cinco anos ou mais, obtida na base de dados do censo de 2010 (IBGE, 2011).

O tratamento dos dados foi realizado no ambiente R (R Core Team, 2018), no qual foi realizada a produção dos mapas temáticos e as coordenadas, utilizando o pacote *mapproj* (Bivand *et al.*, 2018). Em seguida, foi calculada a distância euclidiana entre os centroides das cidades.

Para o cálculo das p -medianas, foi utilizado o pacote *tbar* de Brunson (2015), que utiliza o algoritmo de Teiz e Bart. Foram utilizadas as variáveis população, formandos e taxa de analfabetismo como pesos para cada cenário. Foram solicitadas duas novas p -medianas (localidades), as quais representam os possíveis locais de decisão de novas unidades dos Institutos Federais em Santa Catarina.

4 Discussão da aplicação do problema das p -medianas

O estado de Santa Catarina é formado por 295 municípios; assim, foram calculados 295 centroides das cidades do estado e atribuído o valor um para as cidades i que já possuem campus dos Institutos Federais. Como avalia-se a necessidade de uma cidade receber um Instituto, no caso onde o Instituto Federal possui dois campi, foi atribuído um ponto apenas. Foram calculadas as distâncias euclidianas de um centroide a outro, gerando uma matriz de distância de dimensão 295 x 295, com a diagonal igual a zero.

O total de Institutos espalhados pelo Estado é de 35 unidades. Portanto, para aplicação do algoritmo de Teiz e Bart, foram atribuídos para a solução inicial os 35 pontos, mais a quantidade de pontos que se deseja localizar. Neste caso, a solução inicial do vértice v_i , onde os i são as localidades já existentes dos Institutos Federais, é rotulada como analisada. Desta forma, resta analisar os pontos a serem localizados.

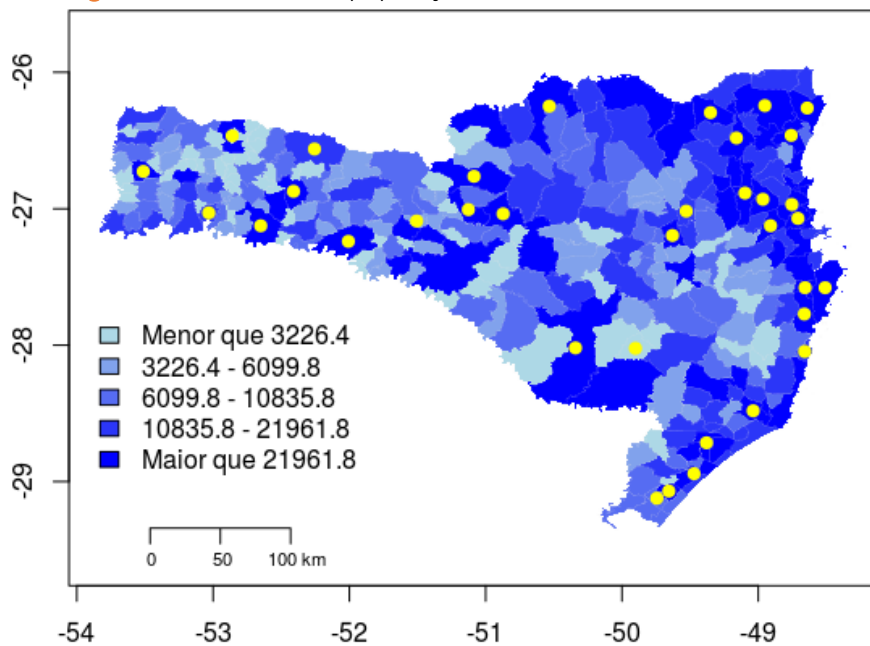
Para a variável de peso w_i , foram consideradas três possíveis variáveis diferentes para a demanda: o primeiro modelo considera a população estimada pelo IBGE no ano de 2015, o segundo considera alunos se formando no Ensino Fundamental e mais alunos se formando no Ensino Médio, e o terceiro modelo que considera a taxa de analfabetos

4.1 Cenário 1 - População Estimada 2015

O primeiro modelo considerou como o peso w_i a estimativa da população de 2015. A projeção

das populações é feita anualmente pelo IBGE e serve de base para o repasse de recursos do orçamento aos municípios. A Figura 1 apresenta o mapa do Estado de Santa Catarina com a estimativa da população em 2015, em que as cores variam pela densidade regional, sendo as de menor população as mais claras; para maior população, as mais escuras; e os pontos em amarelos são os Institutos Federais espalhados pelo Estado. A obtenção dos arquivos em formato *shape* para a construção dos mapas foi obtida no site do IBGE (2015b). Para a construção do mapa temático, foi utilizada a medida separatriz dos quintis. A série é ordenada em cinco partes e cada uma contém 20% de seus elementos. Este cálculo foi feito automaticamente pelo pacote *mapprools*.

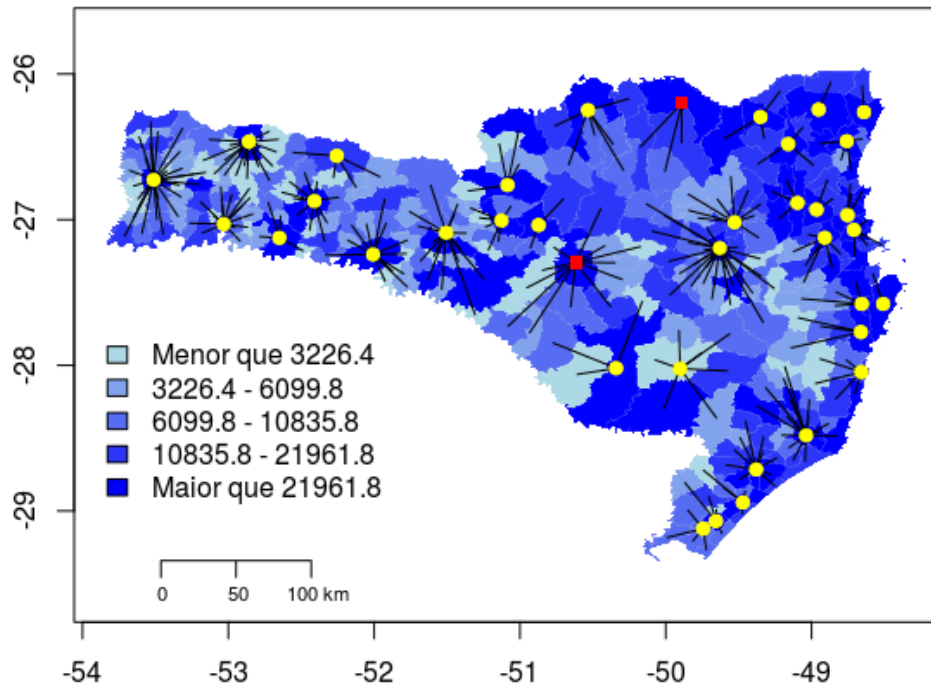
Figura 1 - Estimativa da população - 2015



Fonte: Elaborado pelos autores.

Aplicando o algoritmo das p -medianas para localização de duas novas unidades, pode-se observar, na Figura 2, as cidades selecionadas com pontos vermelhos: Curitibanos e Mafra, assim como as cidades atendidas por cada Instituto. Curitibanos atenderia a 14 cidades, totalizando uma população atendida de 115.787 pessoas. Mafra atenderia a quatro cidades, com uma população atendida de 104.233 pessoas. Os resultados completos podem ser observados na Tabela 1.

Figura 2 - Estimativa da população 2015 e *p*-medianas



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 1 – Quantidade de Cidades Atendidas (Alocadas) e População Estimada Atendidas – 2015 - Continua

Cidades	Alocados	População
Lages	4	171.220
Mafra*	4	104.233
Gaspar	3	90.425
Itajaí	4	328.153
Brusque	7	210.690
Caçador	5	118.597
Chapecó	5	226.556
Ibirama	10	80.823
Luzerna	16	171.514
Palhoça	5	191.968
Sombrio	5	58.818
Tubarão	16	322.328
Urupema	8	62.365
Videira	7	77.738
Xanxerê	11	127.251
Araquari	5	113.168
Blumenau	4	474.829
Camboriú	6	331.746
Criciúma	11	398.519
Garopaba	6	88.533
São José	5	315.341
Araranguá	5	94.335
Canoinhas	7	114.376

Conclusão Tabela 1

Cidades	Alocados	População
Concórdia	13	136.497
Fraiburgo	3	57.742
Joinville	2	578.937
Rio do sul	24	271.201
São Carlos	15	106.149
Curitibanos*	14	115.787
Abelardo Luz	5	37.400
Florianópolis	2	483.634
Jaraguá do Sul	4	209.743
São Bento do Sul	4	149.662
Santa Rosa do Sul	5	41.425
São Miguel do Oeste	26	213.020
São Francisco do Sul	2	66.743
São Lourenço do Oeste	17	77.724
TOTAL	295	6.819.190

Fonte: Elaborado pelos autores.

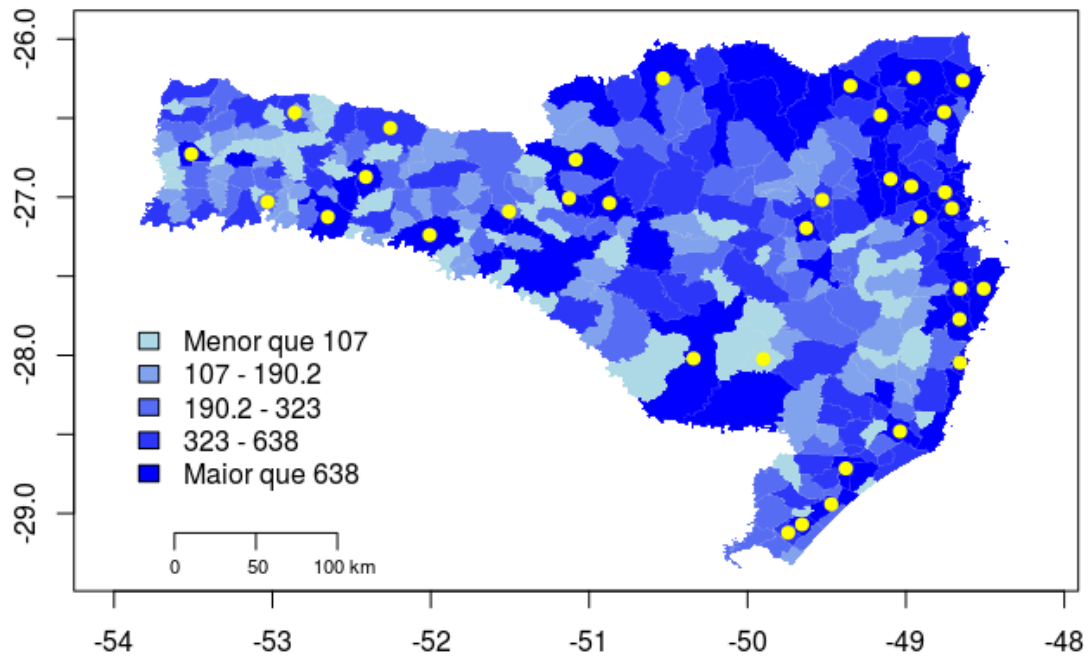
*Novas Localizações

4.2 Cenário 2 - Formandos nos Ensinos Fundamental e Médio

Os Institutos Federais oferecem várias modalidades de cursos, das quais 50% das vagas ofertadas são de Ensino Médio e 20% para formação de formadores. Para os cursos técnicos integrados ao Ensino Médio, são exigidos o Ensino Fundamental completo, e para os cursos técnicos concomitantes (simultâneos) ao Ensino Médio, é exigida a 1ª ou a 2ª série do Ensino Médio completa (dependendo do curso). Já para os cursos técnicos subsequentes, é exigido o Ensino Médio completo. Os cursos superiores oferecidos pelos Institutos são os cursos de bacharelado, licenciatura e tecnologia, que exigem formação completa no Ensino Médio.

Desta forma, a escolha desta variável, número de formandos no Ensino Fundamental e Médio é um fator importante para a tomada de decisão, apesar de que, no mapa de população e no mapa de formandos (Figura 3), observa-se praticamente a mesma solução. Isso se justifica pelo fato de que o número de formandos está relacionado com o número de habitantes da cidade.

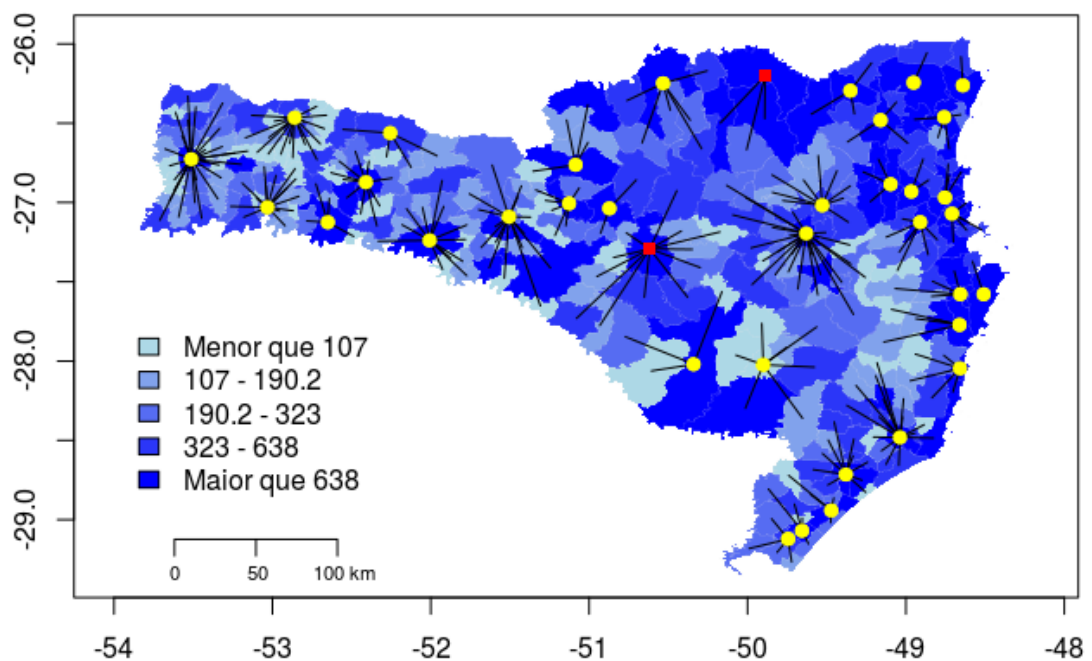
Figura 3 - Formandos no Ensino Fundamental e Médio 2012



Fonte: Elaborado pelos autores.

Deste modo, aplicando o algoritmo das p -medianas para localização de duas novas unidades, obtém-se o resultado observado na Figura 4, isto é, as cidades selecionadas com pontos vermelhos são novamente Curitibaanos e Mafra, assim como as respectivas cidades atendidas por cada Instituto.

Figura 4 - Formandos no Ensino Fundamental e Médio e p -medianas



Fonte: Elaborado pelos autores.

Curitibanos atenderia 14 cidades, do mesmo modo que o resultado anterior para a população, totalizando uma população de formandos atendida de 4.270 estudantes. Mafra atenderia quatro cidades, igual ao resultado anterior para a população, totalizando a população de formandos atendida de 3.623 estudantes. Maiores detalhes estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2- Quantidade de Cidades Atendidas (alocadas) e Formandos do Ensino Fundamental e Ensino Médio Atendidas (população)- 2012

Cidades	Alocados	População
Lages	4	5739
Mafra*	4	3623
Gaspar	3	2317
Itajaí	4	8057
Brusque	7	4898
Caçador	5	3934
Chapecó	5	6013
Ibirama	10	2369
Luzerna	16	5224
Palhoça	5	5243
Sombrio	5	1808
Tubarão	16	9219
Urupema	8	1880
Videira	7	2309
Xanxerê	11	4051
Araquari	5	3160
Blumenau	4	11347
Camboriú	6	7557
Criciúma	11	10886
Garopaba	6	2737
São José	5	8285
Araranguá	5	2795
Canoinhas	7	3966
Concórdia	13	4055
Fraiburgo	3	1802
Joinville	2	14558
Rio do sul	24	8259
São Carlos	15	3203
Curitibanos*	14	4270
Abelardo Luz	5	1301
Florianópolis	2	11816
Jaraguá do Sul	4	5364
São Bento do Sul	4	4144
Santa Rosa do Sul	5	1364
São Miguel do Oeste	26	6785
São Francisco do Sul	2	1705
São Lourenço do Oeste	17	2633
TOTAL	295	188.676

Fonte: Elaborado pelos autores.*Novas Localizações

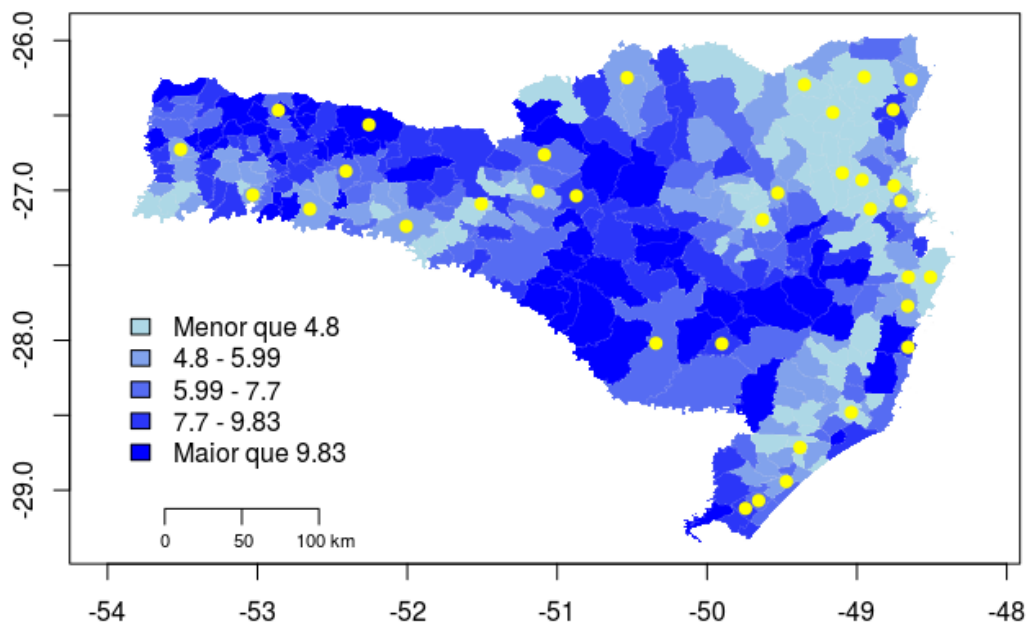
4.3 Cenário 3 – Analfabetismo

Conforme Infante (1994), a UNESCO define que: “uma pessoa funcionalmente analfabeta é aquela que não pode participar de todas as atividades nas quais a alfabetização é requerida para uma atuação eficaz em seu grupo e comunidade, e que lhe permitem, também, continuar usando a leitura, a escrita e o cálculo a serviço do seu próprio desenvolvimento e do desenvolvimento de sua comunidade”. (Infante, 1994, p. 7).

É importante destacar que, para uma ação efetiva, a alfabetização deve estar integrada a uma política de educação de jovens e adultos, para que os estudantes deem continuidade ao seu processo educacional.

Para este cenário, foi utilizada a taxa de analfabetismo, e conforme pode ser verificado na Figura 5, as localidades onde ocorrem as maiores taxas de analfabetismo são as cidades que possuem menor população.

Figura 5 - Analfabetismo em 2010



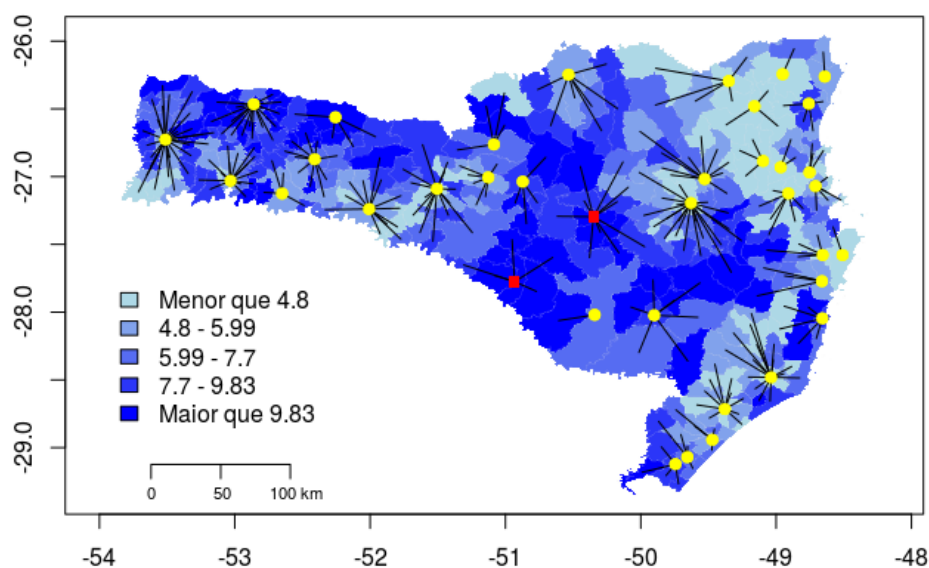
Fonte: Elaborado pelos autores.

Aplicando o algoritmo das *p*-medianas para localização de duas novas unidades, obteve-se que as cidades selecionadas com pontos vermelhos são Cerro Negro e São Cristóvão do Sul, assim como as respectivas cidades atendidas por cada Instituto (Figura 6).

A cidade de Cerro Negro atenderia sete cidades, cuja taxa média de analfabetismo da região é de 12,98%, sendo a taxa de analfabetismo de Cerro Negro é de 17,07%, a maior do estado. Já São Cristóvão do Sul atenderia 11 cidades, com taxa média de analfabetismo da região de 9,55%, e taxa de analfabetismo da Cidade de São Cristóvão do Sul de 12,82%. Os resultados completos podem ser

observados na Tabela 3.

Figura 6 - Analfabetismo 2015 e *p*-medianas



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 3- Quantidade de Cidades Atendidas (Alocadas) e Taxa de Analfabetismo Médio – 2010- Continua

Cidades	Alocados	Taxa média
Lages	2	8,13
Gaspar	3	5,07
Itajaí	4	5,31
Brusque	7	5,86
Caçador	5	8,73
Chapecó	5	7,69
Ibirama	11	5,85
Luzerna	15	6,56
Palhoça	5	7,26
Sombrio	5	6,97
Tubarão	16	5,63
Urupema	8	9,94
Videira	7	5,66
Xanxerê	11	8,51
Araquari	5	6,28
Blumenau	4	3,45
Camboriú	6	5,04
Criciúma	11	4,29
Garopaba	6	8,19
São José	5	6,29
Araranguá	5	6,02
Canoinhas	8	7,67

Conclusão Tabela 3

Cidades	Alocados	Taxa média
Concórdia	13	5,81
Fraiburgo	5	11,16
Joinville	2	5,57
Rio do Sul	21	6,9
São Carlos	15	7,67
Cerro Negro*	7	12,98
Abelardo Luz	5	10,17
Florianópolis	2	5,71
Jaraguá do Sul	4	3,62
São Bento do Sul	6	5,03
Santa Rosa do Sul	5	8,87
São Miguel do Oeste	26	7,93
São Cristóvão do Sul*	11	9,55
São Francisco do Sul	2	5,38
São Lourenço do Oeste	17	10,44
TOTAL	295	7,29

Fonte: Elaborado pelos autores.

*Novas Localizações

5 Considerações finais

O modelo matemático de solução exata demonstrou ser de difícil aplicação quando se tem grande número de variáveis, pois a solução se torna inviável computacionalmente. A aplicação proposta nesse caso é a heurística Teiz e Bart para localização de p -medianas.

As heurísticas Teiz e Bart apresentaram resultados satisfatórios para a determinação de soluções para o problema das p -medianas, indicando, desta forma, onde estão as melhores localizações para se implantar os Institutos Federais. A partir da heurística, foram obtidas as seguintes cidades: Curitiba, Mafra, Cerro Negro e São Cristóvão do Sul. Desta forma, é possível para o gestor da organização avaliar melhor as informações referentes à instalação dos institutos nas respectivas cidades. Cabe ressaltar que, como se trata de Institutos Federais, há várias questões envolvidas, sejam políticas e/ou técnicas, que podem interferir na decisão de instalar-se ou não o respectivo instituto.

Nos cenários aplicados, os resultados dependem da demanda. Logo, pode-se verificar que a quantidade de população e a quantidade de formandos têm grandezas proporcionais, ou seja, cidades com maior número de habitantes têm uma quantidade maior de formandos, e uma cidade com pouca população tem uma pequena quantidade de formandos.

Uma das limitações do trabalho é o fato das distâncias entre uma cidade para outra terem sido calculadas como distâncias euclidianas. Então, as distâncias apresentadas são apenas uma aproximação das distâncias reais. Da mesma forma, o centróide da área não coincide com o centróide da distribuição populacional. Caso fossem utilizadas as distâncias reais, haveria uma melhor precisão do resultado. Para

um próximo trabalho, sugere-se utilizar distâncias reais de uma cidade para outra.

Para localização de novas unidades de ensino dos Institutos Federais e melhorar a tomada de decisão, sugere-se também localizar unidades de outras instituições, como, por exemplo, campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), para ofertas de cursos superiores e Escolas de Ensino Técnico para ofertas de cursos técnicos, bem como avaliar as instituições privadas localizadas na região.

Referências

- Barros, A. J. S., & Leheld, N. A. S. (2000). *Fundamentos de Metodologia: um Guia para a Iniciação Científica*. São Paulo: Makron Books.
- Bivand, R. et al. (2018). *Package mapproj: Tools for Handling Spatial Objects*. Version 0.9-4. Disponível em : <https://cran.r-project.org/web/packages/mapproj/index.html>. Acesso em: 10 dezembro de 2018.
- Brunsdon, C. (2015) *Package tbar: Teitz and Bart's p-Median Algorithm*. Version 1.0. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/tbar/index.html>. Acesso em: 08 novembro de 2018.
- Christofides, N. (1975). *Graph theory: an algorithmic approach*. New York: Academic Press Inc.
- Daskin, M. S. (1995). *Network and Discrete Location – Models, Algorithms and Applications*. New York: John Wiley & Sons.
- Calache, L. D. D. R., & Camargo, V. C. B. (2016). Proposta de um método de localização e alocação de pontos de coleta seletiva. *Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, 8(2), 137-162.
- Camara, M. V. O., Ribeiro, G. M., Quadros, S. G. R., Hora, C. A. H., Nascimento, C. J. F., & Abramides, C. A. (2016). Modelagem matemática aplicada no planejamento de pesquisa de tráfego rodoviário. *Revista Produção Online*, 16(2), 722-742. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v16i2.2125>
- Garcia, A. E. N. (2015). *Aplicação da p-Mediana na Localização da Coordenadoria de Educação da Regional do Médio Paraíba do Estado do Rio*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.
- Gil, A. C. (2017). *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. São Paulo: Atlas.
- Goldbarg, M. C., & Luna, H. P. L. (2000). *Otimização Combinatória e Programação linear: Modelos e Algoritmos*. Rio de Janeiro: Campus.
- Goudard, B., Oliveira, F. H., & Gerente, J. (2015). Avaliação de modelos de localização para análise da distribuição espacial de unidades básicas de saúde. *Revista Brasileira de Cartografia*, Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 67(1), 15-34. ISSN: 1808-0936.
- Hakimi, S. L. (1965). Optimum Distribution of Switching Centers in a Communication Network and Some Related Graph Theoretic Problems. *Operations Research*, 13, 462-475. <https://doi.org/10.1287/opre.13.3.462>.
- Hakimi, S. L. (1964). Optimum Location of Switching Centers and the Absolute Centers and the

- Medians of a Graph. *Operations Research*, 12, 450-459. <https://www.jstor.org/stable/168125>.
- Horner, D. (2009). *Resolução do Problema das P-medianas não Capacitadas: comparação de Algumas Técnicas Heurísticas*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011). *Censo Demográfico 2010*. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 05 de outubro de 2018
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015a,). *Estimativas Populacionais para os Municípios e para as Unidades da Federação Brasileiros*. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2015/estimativa_dou.shtm. Acesso em: 08 de outubro de 2018.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2015b). *Índice de Organização do Território Malhas Territoriais*. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/UFs/SC/. Acesso em: 20 de outubro de 2018.
- Instituto Federal Catarinense (2018). *Relatório de Gestão do Exercício de 2017*. Disponível em: <http://ifc.edu.br/wp-content/uploads/2018/07/Relatório-de-Gestão-2017.pdf>. Acesso em: 30 de outubro de 2018.
- Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (2012). *Microdados para download*. Disponível em: <http://inep.gov.br/microdados>. Acesso em: 10 de novembro de 2018.
- Infante, M. I. (1994). *Investigación regional sobre analfabetismo funcional*. Santiago: UNESCO/OREALC.
- Larson, R. C., & Odoni, A. R. (1981). *Urban Operations Research*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Pizzolato, N. D., Raupp, F. M. P., & Alzamora, G. S. (2012). Revisão de Desafios Aplicados em Localização com Base em Modelos da p -mediana e suas Variantes. *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, 4(1), 13-42. Disponível em: <https://www.podesenvolvimento.org.br/podesenvolvimento/article/view/174/161>. Acesso em: 12 de novembro de 2018.
- R Core Team. (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. *R Foundation for Statistical Computing*. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 12 de outubro de 2018.
- Randhawa, S. U., & West, T. M. (1995). An Integrated Approach to Facility Location Problems. *Computers & Industrial Engineering*, 29(1-4), 261-265. [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(95\)00082-C](https://doi.org/10.1016/0360-8352(95)00082-C).
- Romero, B. C. (2006). *Análise da Localização de Plataformas Logísticas: uma aplicação ao caso da ETSP – Entrepasto Terminal São Paulo – da CEAGESP*. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Silva, R. T. (2009). *Avaliação da Distribuição Espacial de Escolas a Partir de um Modelo Não Capacitado com Auxílio da Ferramenta Sig: Um Estudo de Caso da Cidade de Volta Redonda-RJ*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda.
- Teitz, M. B., & BART, P. (1968). Heuristics Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph. *Operations Research Society*, 16(5), 901-1091. <https://doi.org/10.1287/opre.16.5.955>.