

LOCALIZAÇÃO E ALOCAÇÃO DE CENTROS DE SAÚDE: ESTUDO DE CASO EM ÁCORA, PUNO, PERU

Guina G. S. Alzamora
guinas@gmail.com

Fernanda M. P. Raupp
fraupp@puc-rio.br

Nélio D. Pizzolato
ndp@puc-rio.br

DEI/ PUC – RIO

Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

RESUMO

O principal órgão responsável pela saúde de um país tem como missão promover, proteger e recuperar a saúde de seus habitantes, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida e para o exercício da cidadania. Assim, todas as localidades, inclusive as mais afastadas, devem ser alcançadas de modo a promover atendimento médico e sanitário satisfatório a toda população. Este estudo tem como objetivo avaliar a distribuição espacial de postos de saúde de Ácora, distrito do departamento de Puno, Peru, permitindo verificar a necessidade de implantação de novos postos de saúde ou de adaptação de postos de saúde existentes para um nível superior de atendimento. Além disso, pretende-se determinar a alocação ótima de pacientes a esses postos, visando reduzir custos de deslocamento, melhorar o nível de atendimento e maximizar a utilização do sistema. Por fim, é realizada uma projeção das necessidades da população para o ano 2016.

PALAVRAS CHAVE. *p*-mediana, Diagramas de Voronoi, Unidades de Saúde.

Área principal: AS – PO na Área de Saúde.

ABSTRACT

The main organ responsible for the health of a country has as mission to promote, protect and restore the health of its inhabitants, improving the quality of life and the exercise of citizenship. Thus, all locations, including the most remote, must be achieved in order to promote satisfactory health and medical care to the entire population. This study aims to evaluate the spatial distribution of health facilities of Ácora, district department of Puno, Peru, verifying the need to introduce new health facilities or to upgrade existing health facilities to a higher level of medical services. In addition, we determine the optimal allocation of patients to these posts in order to reduce travel costs, improve service level and maximize the use of the system. Finally, a projection of the needs of the population for the year 2016 is realized.

KEYWORDS. *p*-median, Voronoi Diagrams, Medical Healthcare facilities.

Main area: SA Medical healthcare.

1. Introdução

Problemas de localização tratam de decisões sobre onde instalar facilidades, considerando clientes que devem ser servidos de forma a otimizar algum critério (DREZNER 1995). O termo “facilidades” pode ser substituído por postos de saúde, escolas, fábricas, depósitos, etc., enquanto que clientes se referem a usuários de postos de saúde, estudantes, unidades de vendas, etc.

As aplicações de problemas de localização de facilidades são, em geral, divididas em dois setores: públicos e privados. A localização de escolas, postos de saúde, corpo de bombeiros, ambulâncias, viaturas de polícia, pontos de ônibus, entre outros, são problemas típicos que envolvem o setor público. Os problemas relativos ao setor privado envolvem custos fixos e, além disso, suas aplicações consideram em geral, fábricas, depósitos, torres de transmissão, lojas de franquias, entre outros.

O principal órgão responsável pela saúde de um país tem como missão promover, proteger e recuperar a saúde de seus habitantes, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida e para o exercício da cidadania. Assim, todas as localidades, inclusive as mais afastadas, devem ser alcançadas de modo a promover atendimento médico e sanitário satisfatório a toda população. A acessibilidade a uma unidade de saúde é considerada importante pelos órgãos gestores, e constitui um aspecto fundamental para garantir o atendimento primário à saúde.

Neste trabalho, aspectos de planejamento, análise e implantação/adaptação relativos a unidades de saúde foram observados, considerando os seguintes tópicos: densidade demográfica, grau de carência sócio-econômica da população, inexistência de serviços de saúde na região e demanda pelo serviço de saúde. Portanto, é importante responder algumas perguntas, tais como: onde localizar instalações a fim de minimizar a distância percorrida pelos usuários desde suas residências até o posto de saúde mais próximo; saber se os postos de saúde já implantados estão bem localizados, e se, em médio prazo, haverá necessidade de instalar novos postos de saúde.

Este estudo pretende responder as tais perguntas referentes ao caso do distrito de Ácora, pertencente ao departamento de Puno, Peru, cuja prefeitura está localizada na cidade Ácora, usando um modelo de localização de p -mediana integrado à técnica de Diagramas de Voronoi (REZENDE *et al.* 2000).

Este trabalho está estruturado como segue: na Seção 2 abordamos o problema de localização através do modelo da p -mediana. Na Seção 3, é descrita a técnica dos diagramas de Voronoi. Dados referentes à saúde do distrito de Ácora são apresentados na Seção 4. Na seção 5, são apresentados os resultados dos experimentos numéricos, e, finalmente, na seção 6, são feitas considerações finais.

2. Problema de Localização

O problema de localização (WEBER 1909, DASKIN 1995, DREZNER 2005) consiste em escolher posições geográficas para a instalação de facilidades ou postos de serviços. É sabido que, em geral, o problema de localização é NP-difícil (GAREY e JOHNSON, 1979). As primeiras formulações do problema da p -mediana foram apresentadas por Hakimi (1964) e Kariv e Hakimi (1965). Existem muitos estudos sobre aplicações do modelo da p -mediana e suas variantes, assim como sobre seus métodos de resolução. Citamos os trabalhos de Mladenovic *et al.* (2007) e Reese (2005) que fazem boa revisão sobre o tema.

Sejam $N = \{1, \dots, n\}$ o conjunto de pontos de demanda; $i \in N$ um determinado cliente ou vértice; $j \in N$ uma instalação em potencial ou mediana; p o número de instalações de serviço ou medianas a serem localizadas; w_i o peso ou importância do cliente i ; $[d_{ij}]_{n \times n}$ a matriz simétrica de distâncias de cada cliente i à instalação j , com $d_{ii} = 0, \forall i$; $[x_{ij}]_{n \times n}$ a matriz de alocação de cada cliente i ; onde $x_{ij} = 1$ se o cliente i é alocado à instalação j e $x_{ij} = 0$, caso contrário; $x_{jj} = 1$ indica que j é uma mediana e $x_{jj} = 0$ em caso contrário. Então, o modelo da p -mediana é apresentado da seguinte forma:

$$\text{minimizar } Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} w_i d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{sujeito a } \sum_{j \in N} x_{ij} = 1; \quad i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{jj} = p \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj}; \quad i, j \in N \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}; \quad i, j \in N, \quad (5)$$

onde a função objetivo (1) indica a minimização das distâncias ponderadas entre os clientes e os postos que oferecem serviços; as restrições em (2) indicam que cada cliente i é alocado a somente uma instalação j ; a restrição (3) garante que somente p instalações oferecem o serviço proposto; as restrições em (4) afirmam que um cliente somente é atendido num local onde existe uma instalação que oferece o serviço, e as restrições em (5) impõem variáveis de decisão binárias.

Existem diversos estudos realizados para localizar facilidades no setor de saúde, como pode ser visto no *survey* de Rais e Viana (2010) que apresenta o papel da saúde na Pesquisa Operacional, e ainda destacamos o trabalho de Rezende *et al.* (2000).

3. Diagrama de Voronoi

O uso do diagrama de Voronoi iniciou-se com Descartes, porém foi disseminado por Georgy Voronoi (REZENDE *et al.*, 2000), que o interpreta como uma técnica de construção de mosaicos. A idéia é construir uma partição do plano com $n > 2$ pontos geradores, resultando em polígonos convexos, de modo que cada polígono contenha exatamente um desses pontos geradores, e tenha ainda pontos interiores que estão mais próximos deste do que qualquer outro ponto gerador (veja a ilustração na Figura 1).

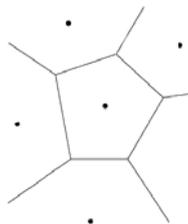


Figura 1: Exemplo de um Diagrama de Voronoi

A técnica dos diagramas de Voronoi tem aplicação em diferentes áreas, como a arqueologia, biologia, mineralogia, fisiologia, estatística, entre outras. Recentemente, foi aplicada no planejamento urbano e regional por Boots *et al.* (1997), na área de educação por Lobo (2003) e na área da saúde por Rezende *et al.* (2000), para citar apenas alguns trabalhos.

Segundo Boots e South (1997), o diagrama de Voronoi pode ser definido como a seguir. Seja um conjunto de n instalações, $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, $2 \leq n < \infty$, em um espaço bi-dimensional. Considere $x_j = (x_{j1}, x_{j2})$ a localização da instalação p_j espacialmente distinta, ou seja, $x_j \neq x_l$ para $j \neq l, j, l \in I_n = \{1, 2, \dots, n\}$. Considere ainda $x = (x_1, x_2)$, uma localização arbitrária de um ponto p no plano, cuja distância euclidiana entre p e p_j é dada por

$$d(p, p_j) = \|x - x_j\| = \sqrt{(x_1 - x_{j1})^2 + (x_2 - x_{j2})^2}.$$

Assim, a região $V(p_j) = \{x \mid \|x - x_j\| \leq \|x - x_l\| \text{ para } j \neq l, l \in I_n\}$ é chamada de polígono de Voronoi da instalação p_j . Certamente, $V(p_j)$ contém pontos que estão mais

próximos da instalação p_j do que outra região. O conjunto $\Gamma(P) = \{V(p_1), \dots, V(p_n)\}$ é chamado de diagrama ordinário de Voronoi do conjunto de instalações P .

4. Dados sobre saúde no distrito de Ácora

Localizada na região serrana do Peru, o distrito de Ácora, cuja capital localiza-se na cidade de Ácora, abrange uma área de 1871,31 km², com 115 comunidades e uma população de 28.679 habitantes, segundo levantamento de 2008 do Instituto Nacional de Estatística e Informática (INEI, 2011). A maior parte da sua população dedica-se à produção agrícola e pecuária. Com poucos setores urbanos, Ácora é considerada uma prefeitura da área rural, sendo assim, sua atuação em termos de saúde pública deve ser analisada como tal.

As unidades de saúde no Peru são categorizadas segundo normas definidas pelo Ministério de Saúde em 2004 (MINSA, 2011). As categorias levam em conta grau de complexidade, número de camas, âmbito de ação, entre outros aspectos, de acordo com a Tabela 1. As unidades de primeiro nível atendem de 70 a 80% da demanda do sistema. Os pacientes atendidos nessas unidades apresentam problemas de saúde de baixa severidade ou complexidade, e por isso precisam de menor especialização de recursos e espera-se maior oferta desses serviços. Unidades de segundo nível atendem de 12 a 22% da demanda por serviços médicos, que requer assistência médica de complexidade intermediária. O terceiro nível atende de 5 a 10% da demanda que requer assistência médica de alta complexidade, necessitando de uma oferta de serviços médicos de tamanho menor, mas de alta especialização e tecnologia. O distrito de Ácora apresenta somente o Primeiro Nível de assistência médica.

Tabela 1: Categorias de unidades do setor de saúde do Peru

Nível de assistência	Nível de complexidade	Categoria das Unidades de Saúde
Primeiro Nível	Nível 1	I-1
	Nível 2	I-2
	Nível 3	I-3
	Nível 4	I-4
Segundo Nível	Nível 5	II-1
	Nível 6	II-2
Terceiro Nível	Nível 7	III-1
	Nível 8	III-2

Fonte: Salaverry e Cárdenas-Rojas (2009)

Os recursos das unidades de Primeiro Nível de assistência médica estão no Quadro 1. Postos de Saúde pertencem à categoria I-1, oferecem assistência integral ambulatoria e possuem profissionais da área da saúde dedicados (auxiliar de enfermagem e/ou enfermeiro e/ou obstetra). Postos de Saúde com médico pertencem à categoria I-2, além de oferecer os serviços da categoria I-1, oferecem assistência ambulatorial e um clínico geral. Centros de Saúde pertencem à categoria I-3, além de oferecer os serviços da categoria I-2, oferecem assistência médica ambulatoria integral. Possuem também dentista, técnico de laboratório de análises clínicas, técnico de farmácia e auxiliar de estatística. Centros de Saúde com internamento pertencem à categoria I-4, além de oferecer os serviços da categoria I-3, oferecem internamento de curta duração, com serviços médicos focados principalmente na área relativa à maternidade e cuidados pré-natais. Possuem também de um médico cirurgião ou familiar e um médico de especialidade em ginecologia, obstetrícia e/ou pediatria.

O distrito de Ácora está dividido em 20 comunidades maiores, possui um centro de saúde localizado na cidade de Ácora, e 16 postos de saúde localizados em 14 comunidades, como indica a Tabela 2. A Figura 2 apresenta a localização geográfica das unidades de saúde existentes, enquanto que a Tabela 3 mostra a distribuição da população do distrito de Ácora por faixas etárias. Estas informações serão úteis para avaliar as demandas da população por especialidades médicas. A população feminina foi classificada em dois grupos conforme a faixa etária, de 10 a

14 anos e de 15 a 49 anos, a fim de dimensionar a demanda por assistência ginecológica e obstétrica no presente e num futuro próximo.

Quadro 1: Quadro comparativo das diferentes categorias no Peru

Unidades de serviços	Posto de Saúde I-1	Posto de Saúde com Clínico geral I-2	Centro de Saúde I-3	Centro de Saúde com Internação I-4
Saúde básica	Sim	Sim	Sim	Sim
Clínica geral	Itinerante	6-12h	12h	12h
Patologia clínica			Sim	Sim
Especialidade				Clínica geral mais ginecológica e/ou pediátrica

Fonte: MINSA (2011)

Tabela 2: Unidades de saúde no distrito de Ácora

No.	Nome da Comunidade	População	Tipo e Categoria da unidade	Nome da unidade
1	Villa Socca	1165	Posto de Saúde I-2	Villa Socca
2	Thunuhuaya	792		
3	Yanaque	1503	Posto de Saúde I-2	Yanaque
4	Ccocosani	926	Posto de Saúde I-1	Ccocosani
5	Ccopamaya	881		
6	Chancachi	1107	Posto de Saúde I-1	Chancachi
7	Ácora	3156	Centro de Saúde I-4	Ácora
8	Caritamaya	1500	Posto de Saúde I-1	Caritamaya
9	Thunco	1064	Posto de Saúde I-1	Thunco
10	Jayu Jayu	1996	Posto de Saúde I-2	Jayu Jayu
11	Crucero	1289		
12	Culta	1904	Posto de Saúde I-2	Culta
			Posto de Saúde I-1	Ccapalla
13	Marca Esqueña	1156	Posto de Saúde I-1	Cucho esqueña
14	Amparani	2791	Posto de Saúde I-1	Amparani
15	Totorani	2425	Posto de Saúde I-2	Totorani
			Posto de Saúde I-1	Taipicirca
16	Sacuyo	1829	Posto de Saúde I-1	Sacuyo
17	Carumas	1281	Posto de Saúde I-1	Carumas
18	Aguas Calientes	638	Posto de Saúde I-2	Aguas Calientes
19	Jilata Marca	638		
20	Pasto Grande	638		
	TOTAL	28679		

Fonte: Banco de dados nacional do sistema HIS, MINSA (2011) e (INEI, 2011).

Além disso, é importante considerar os atuais indicadores de recursos em saúde do Peru, que informam o número máximo de habitantes por recurso em saúde existente para assegurar um nível mínimo de assistência. Para a determinação dos indicadores atuais dos recursos, foram considerados os dados da Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS, 2011) e os dados relativos às zonas rurais de Carrión (2006). Ainda, Vallejos (2006) propõe adicionar aos recursos atuais o número mínimo de médicos necessários por habitantes no departamento de Puno até o ano de 2011. A compilação destes dados é apresentada na Tabela 4.

A Tabela 5 apresenta os dados sobre os recursos humanos da área de saúde existentes no distrito de Ácora.

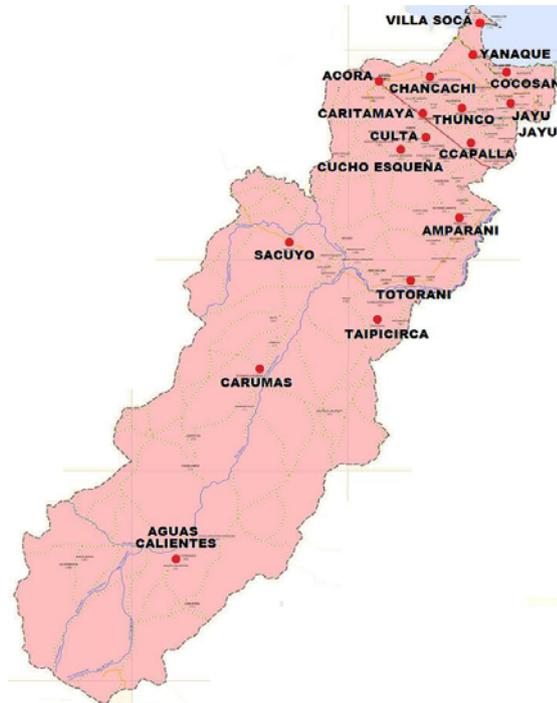


Figura 2: Localização atual dos centros e postos de saúde em Ácora

Tabela 3. Distribuição da população do distrito de Ácora por faixa etária

Idade (anos)	População	Percentual da população	Percentual acumulado da população	Mulheres
0 a 4	2445	8.53	8.525	
5 a 9	2765	9.64	18.17	
10 a 14	3089	10.8	28.94	1377
15 a 19	2633	9.18	38.12	
20 a 24	2155	7.51	45.63	
25 a 29	2018	7.04	52.67	
30 a 34	1777	6.2	58.87	6645
35 a 39	1725	6.01	64.88	
40 a 44	1657	5.78	70.66	
45 a 49	1371	4.78	75.44	
50 a 54	1238	4.32	79.76	
55 a 59	1307	4.56	84.31	
60 a 64	1129	3.94	88.25	
65 a 69	957	3.34	91.59	
70 a 74	887	3.09	94.68	
75 a 79	688	2.4	97.08	
80 a 84	386	1.35	98.42	
85 a 89	239	0.83	99.26	
90 a 94	90	0.31	99.57	
95 a 99	123	0.43	100	
Total	28679	100		

Fonte: INEI (2011).

Tabela 4: Indicadores de recursos

Recursos	Habitantes
1 Pediatra (zona rural)	1719
1 Obstetra (zona rural)	2083
1 Clínico Geral (Puno)	1666,7
1 Enfermeiro	1250
1 Técnico em enfermagem	750
1 Cama	666,6

Fonte: OPAS (2011), Carrión (2006) e Vallejos (2006)

Tabela 5. Recursos humanos disponíveis no distrito de Ácora

Especialidade	Total
Médico	11
Enfermeiro	25
Obstetra	8
Outros profissionais	2
Técnicos e auxiliares em enfermagem	39
Técnicos e auxiliares administrativos	4

Fonte: Banco de dados nacional do sistema HIS, MINSA (2011).

Finalmente, a partir da informação sobre a distribuição da população por faixas etárias (Tabela 3) e sobre os indicadores de recursos (Tabela 4), foram calculados os recursos mínimos para garantir assistência médica à população do distrito de Ácora para o ano de 2011 (veja Tabela 6). Ainda, considerando a taxa de crescimento anual da população de 1,1% (INEI, 2011), as quantidades de recursos mínimos foram projetadas para o ano de 2016.

Tabela 6: Recursos mínimos no distrito de Ácora

Recursos	Quantidade mínima	
	Ano 2011	Ano 2016
Pediatra	5	5
Ginecologista ou Obstetra	4	4
Clínico Geral	13	14
Enfermeiro	23	25
Técnico em enfermagem	39	41
Cama	44	46
População	28679	30292

5. Experimentos numéricos

Neste trabalho foram realizados três experimentos numéricos com os dados sobre saúde de Ácora num computador com processador Intel Core Duo 1.06GHz, 1Gb de memória DDR2 de 533MHz. O *solver* CPLEX 11.2 do pacote AIMMS, versão acadêmica não comercial 3.9, foi usado para resolver as instâncias do modelo da p -mediana (1)-(5). A técnica de Diagramas de Voronoi foi programada em C++, usando as ferramentas Open-GL e CGAL. Os experimentos são descritos a seguir.

a) No primeiro experimento numérico deseja-se avaliar a escolha da localização do Centro de Saúde do distrito de Ácora. Para isso, são considerados os dados da Tabela 2, além do Centro de

Saúde estar localizado em Ácora, existem 16 Postos de Saúde categoria I-1 e I-2, assim como os dados sobre recursos humanos disponíveis, apresentados na Tabela 5.

Neste experimento, todos os locais das unidades de saúde existentes foram considerados como locais em potencial para instalar o Centro de Saúde. As distâncias euclidianas foram ponderadas por pesos proporcionais ao tamanho da população dos locais onde existem unidades.

O resultado do experimento, o qual foi chamado por FuncaoMin, é apresentado resumidamente no relatório gerado pelo pacote AIMMS (veja Figura 3(a)). O relatório revela que o pacote identificou o modelo da p -mediana com um problema de programação linear inteira mista (MIP) com 289 variáveis de decisão inteiras e 291 restrições. O *solver* CPLEX 11.2 encontrou a solução ótima em 137 iterações num tempo de 0.02 segundos, usando 82.9Mb da memória disponível (3269.5Mb). O valor ótimo do problema de minimização é 1,145155204e10. A solução ótima encontrada sugere que o Centro de Saúde do distrito de Ácora seja localizado em Culta, e não na cidade de Ácora como é atualmente (veja Figura 3(b)).

```

READY
-----
AIMMS      : CentroSaude.amb
Executing  : MainExecution
Line number : 1 [body]
Math.Program : FuncaoMin
# Constraints : 291
# Variables : 290 (289 integer)
# Nonzeros  : 1123
Model Type : MIP
Direction  : minimize

SOLVER     : CPLEX 11.2
Phase      : Postsolving
Iterations  : 137
Nodes      : 0 (Left: 0)
Best LP Bound : 1.142155204e10 (Gap: 0.00%)
Best Solution : 1.142155204e10 (Post: 1.142155204e10)
Solving Time : 0.02 sec (Peak Mem: 0.0 Mb)
Program Status : Optimal
Solver Status : Normal completion

Total Time : 0.00 sec
Memory Used : 82.9 Mb
Memory Free : 3269.5 Mb
    
```

Figura 3(a): Resultado para 1-mediana

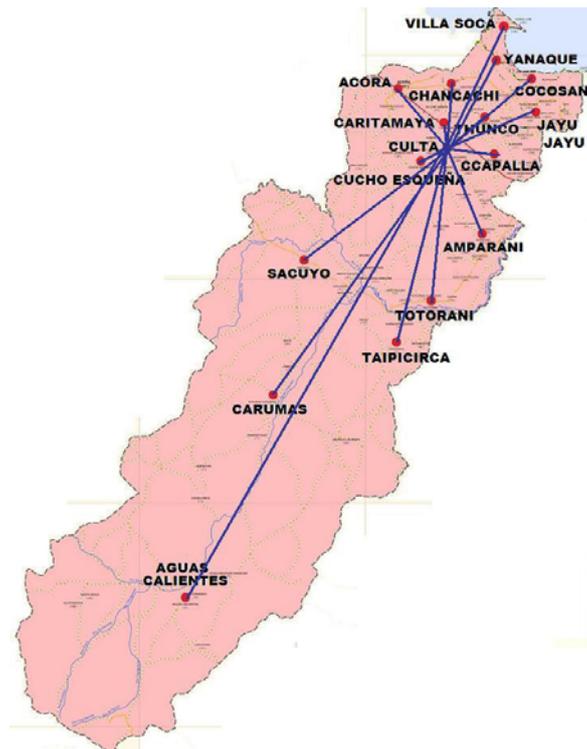


Figura 3(b): Abrangência do posto de saúde Culta, sugerida como Centro de Saúde

b) No segundo experimento procura-se localizar unidades de saúde, supondo que não existam unidades no distrito de Ácora. De acordo com a classificação da prefeitura de Ácora (Tabela 2), foram consideradas as 20 maiores comunidades como locais em potencial para a instalação dos postos de saúde com categorias variando de I-1 a I-4, conforme Tabela 1. Neste experimento, foram utilizadas as distâncias euclidianas ponderadas por pesos proporcionais ao tamanho da população das 20 maiores comunidades.

Sabendo que um Centro de Saúde categoria I-4 possui de 20 a 25 leitos (MINSA, 2011) e que são necessários 44 leitos (conforme Tabela 6), verificou-se a necessidade do distrito de Ácora ter pelo menos dois Centros de Saúde de categoria I-4 para atender a sua população. O número de unidades utilizado neste experimento considera o número atual de unidades de saúde, que são 17.

Primeiramente, com base nos dados da Tabela 6, foram resolvidas as instâncias do modelo p -mediana (1)-(5) considerando os seguintes aspectos para o distrito de Ácora: (a) dois centros de saúde ($p=2$), (b) 5 médicos pediatras ($p=5$), (c) 13 clínicos gerais ($p=13$), e (d) 17 unidades de saúde ($p=17$).

Em seguida, as localizações determinadas por (a), (b), (c) e (d) foram agrupadas em uma matriz quadrada de 20 comunidades. Ao analisar as entradas dessa matriz, verificou-se que havia entradas com incidências de 0 a 3. As 5 comunidades que apresentaram 3 incidências foram igualmente consideradas candidatas a instalarem 2 Centros de Saúde do tipo I-4. Denote por J_3 o conjunto dos índices dessas 5 comunidades, $J_3 \subset N$. Resolveu-se o modelo da p -mediana (1)-(5), considerando $p=2$, com $j \in J_3$, para determinar a localização dos 2 Centros de Saúde I-4.

Para determinar a localização de postos de saúde de categoria I-2, resolvemos o modelo da p -mediana considerando: $p=11$, pois os dois centros de saúde já localizados contam com dois clínicos gerais, com $j \in J_2 \subset N$, onde J_2 representa o conjunto de índices das comunidades que possuem 2 incidências mais os índices das 3 comunidades que não foram eleitas para instalar os centros de saúde pertencentes J_3 .

Desse modo, para localizar os postos de saúde de categoria I-1, resolvemos o modelo da p -mediana considerando: $p=4$, visando totalizar 17 unidades, com $j \in J_1 \subset N$, onde J_1 representa o conjunto de índices das comunidades que possuem 1 incidência mais o índice da comunidade que não foi eleita para instalar os postos de saúde de categoria I-2.

A categoria I-3 foi descartada por exigir uma infra-estrutura diferenciada. Os resultados parciais das localizações das unidades de saúde das categorias I-1, I-2 e I-4 foram reunidos na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados do 2º experimento com 2 Centros de Saúde

No.	Tipo	Nome	Categoria
1	Posto de saúde	Villasocca	I-1
2	Posto de saúde	Yanaque	I-2
3	Posto de saúde	Ccopamaya	I-1
4	Posto de saúde	Chancachi	I-1
5	Posto de saúde	Ácora	I-2
6	Centro de saúde	Caritamaya	I-4
7	Posto de saúde	Thunco	I-2
8	Posto de saúde	Jayu Jayu	I-2
9	Posto de saúde	Culta	I-2
10	Posto de saúde	Marca Esqueña	I-1
11	Posto de saúde	Amparani	I-2
12	Posto de saúde	Totorani	I-2
13	Posto de saúde	Sacuyo	I-2
14	Centro de saúde	Carumas	I-4
15	Posto de saúde	Aguas Calientes	I-2
16	Posto de saúde	Jilata Marca	I-2
17	Posto de saúde	Pasto Grande	I-2

Com relação ao resultado do problema 2-mediana com os dados agregados, o relatório do AIMMS (veja Figura 4(a)) revela que o pacote identificou o modelo da p -mediana com um problema de programação linear inteira mista (MIP) com 385 variáveis de decisão inteiras e 117 restrições. O *solver* CPLEX 11.2 encontrou a solução ótima em 34 iterações num tempo de 0,02 segundos, usando 74.7Mb da memória disponível (3436.6 Mb). O valor ótimo do problema de minimização é 2354665.431. As regiões de abrangência das unidades de saúde estão destacadas na Figura 4(b), para tal foi utilizada a técnica de diagramas de Voronoi.

```

READY
-----
AIMMS      : CentroSaude.amb
Executing  : MainExecution
Line number : 1 [body]
Math.Program : FuncaoMin
# Constraints : 117
# Variables : 386 (385 integer)
# Nonzeros  : 676
Model Type : MIP
Direction  : minimize

SOLVER     : CPLEX 11.2
Phase      : Postsolving
Iterations  : 34
Nodes      : 0 (Left: 0)
Best LP Bound : 2354665.431 (Gap: 0.00%)
Best Solution : 2354665.431 (Post: 2354665.431)
Solving Time : 0.02 sec (Peak Mem: 0.0 Mb)
Program Status : Optimal
Solver Status : Normal completion

Total Time : 0.00 sec
Memory Used : 74.7 Mb
Memory Free : 3436.6 Mb
    
```

Figura 4: Resultado para 2-mediana

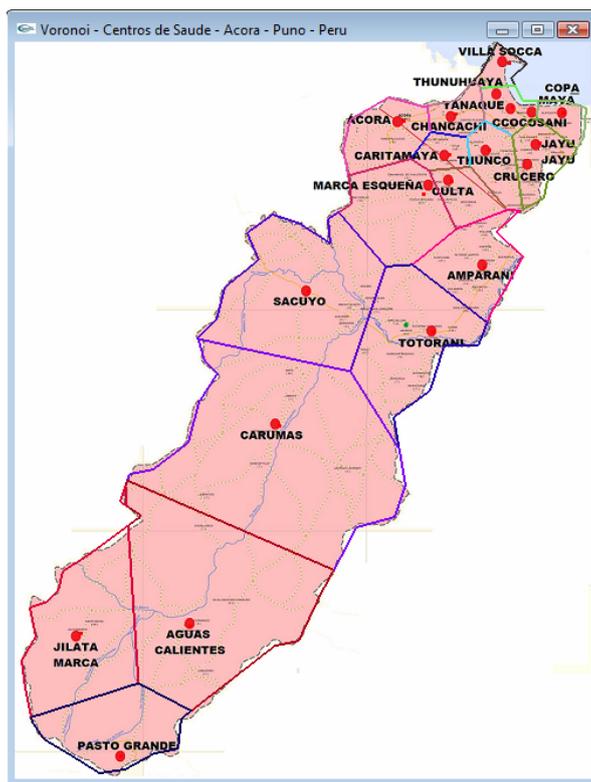


Figura 4 (b). Regiões de abrangência das unidades de saúde do 2º experimento.

c) O terceiro experimento numérico faz uma projeção das demandas da população do distrito de Ácora por serviços de saúde para o ano de 2016 a partir da solução encontrada no segundo experimento. Neste experimento, foram usadas distâncias euclidianas com pesos proporcionais ao tamanho da população projetada para 2016 das 20 maiores comunidades.

Os pesos das localidades que já abrigavam as unidades de saúde com estrutura para clínica geral, que são as unidades de saúde de categoria I-2 e I-4, dadas pela solução do segundo experimento, foram duplicados. Desse modo, as unidades de saúde já existentes não teriam suas categorias rebaixadas em 2016. Ainda, consideraram-se, nesse experimento, 17 unidades de saúde, igual ao número de unidades estabelecido no segundo experimento.

Similarmente ao segundo experimento, primeiramente, com base nos dados da Tabela 6, foram resolvidas as instâncias do modelo p -mediana (1)-(5) considerando os seguintes aspectos para o distrito de Ácora: (a) dois centros de saúde ($p=2$), (b) 5 médicos pediatras ($p=5$), (c) 14 clínicos gerais ($p=14$), e (d) 17 unidades de saúde ($p=17$).

Em seguida, as localizações determinadas por (a), (b), (c) e (d) foram agrupadas em uma matriz quadrada de 20 comunidades. Ao analisar as entradas dessa matriz, verificou-se que havia entradas com incidências de 0 a 3. As 6 comunidades que apresentaram 3 incidências foram igualmente consideradas candidatas a instalarem 2 Centros de Saúde do tipo I-4. Denote por J_3 o conjunto dos índices dessas 6 comunidades, $J_3 \subset N$. Resolveu-se o modelo da p -mediana (1)-(5), considerando $p=2$, com $j \in J_3$, para determinar a localização dos 2 Centros de Saúde I-4.

Para determinar a localização de postos de saúde de categoria I-2, resolvemos o modelo da p -mediana considerando: $p=12$, pois os dois centros de saúde já localizados contam com dois clínicos gerais, com $j \in J_2 \subset N$, onde J_2 representa o conjunto de índices das comunidades que possuem 2 incidências mais os índices das 3 comunidades que não foram eleitas para instalar os centros de saúde pertencentes J_3 .

Desse modo, para localizar os postos de saúde de categoria I-1, resolvemos o modelo da p -mediana considerando: $p=3$, visando totalizar 17 unidades, com $j \in J_1 \subset N$, onde J_1 representa o conjunto de índices das comunidades que possuem 1 incidência mais o índice da comunidade que não foi eleita para instalar os postos de saúde de categoria I-2.

A categoria I-3 foi descartada por exigir uma infra-estrutura diferenciada.

Os resultados da projeção não variaram com relação aos resultados encontrados no segundo experimento, exceto que o Posto de Saúde de categoria I-1 localizado em Chancachi passa a ser um Posto de Saúde de categoria I-2, devido à alocação de um clínico geral a esse posto de saúde.

4. Conclusões.

Neste trabalho avaliamos a abrangência dos postos de serviços médicos do distrito de Ácora no departamento de Puno através do modelo da p -mediana e da técnica de diagramas de Voronoi. Com dados disponíveis de Ácora, foram realizados três experimentos numéricos: avaliação da escolha da localização atual do Centro de Saúde, determinação ótima de locais para a instalação de unidades de saúde conforme a demanda real, e a localização de unidades de saúde conforme a projeção das demandas por serviços médicos da população para o ano de 2016.

A solução ótima encontrada no primeiro experimento sugere que um único Centro de Saúde de categoria I-4 no distrito de Ácora deveria estar localizado em Culta e não na cidade de Ácora como é atualmente.

Tendo como base os dados atuais, os resultados dos experimentos apontam para a necessidade de existir pelo menos dois Centros de Saúde de categoria I-4, especificamente, com localizações sugeridas em Caritamaya e Carumas.

Projetando as demandas por serviços de saúde da população de Ácora para o ano 2016, verifica-se a necessidade de elevar a categoria de um Posto de Saúde de categoria I-1 existente, isto é, Chancachi é escolhida para ser um Posto de Saúde de categoria I-2.

A partir dos resultados obtidos com os dados referentes à saúde de Ácora, podemos afirmar que os recursos humanos especializados em saúde nos Postos de Saúde e Centros de Saúde ainda são deficitários, de acordo com a Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS) de 2005. Nesse sentido, para melhorar a oferta de serviços de saúde é adequado realizar uma avaliação preliminar das possíveis localizações de unidades de saúde, para que a abrangência das unidades seja a maior possível à população e que os recursos da saúde não sejam desperdiçados.

Referências

- Boots, B.N., Okabe, A., Kokichi, S.** (1997), Spatial tessellations: concept and applications of Voronoi diagrams, *John Wiley and Sons Ltd*, England.
- Boots, B., South, R.** (1997), Modeling retail trade areas using higher-order, multiplicatively weighted Voronoi diagrams. *Journal of Retailing*, 73 (4), 519-536.
- Carrión, R.** (2006), Formación de especialidades en el Perú, *Seminario Taller - Aspefam*.
- Daskin, M.S.** (1995), Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications, *John Wiley & Sons*, New York.
- Drezner, Z.** (editor). (1995), Facility location: A survey of applications and methods, *Springer*, New York.
- Garey, M. R. e Johnson, D. S.** (1979), Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness, *W. H. Freeman and Co.*, San Francisco.
- Hakimi S.** (1964), Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph, *Operation Research*, 12, 450-459.
- INEI**, Instituto Nacional de Estadística e Informática, <http://www.inei.gob.pe>, Acesso em maio 2011.
- Kariv O, Hakimi SL.** (1979), An algorithmic approach to network location problem. Part 2: the p -median. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 37:539-60.
- Lobo, D.S.** (2003), Dimensionamento e otimização locacional de unidades de educação infantil, *Tese de mestrado*, Santa Catarina.
- MINSA**, Ministerio da Saúde, Categorias de Establecimientos de Sector Salud, *Norma Técnica*, 2004.
- MINSA**, Ministerio da Saúde, <http://www.minsa.gob.pe>, Acesso em maio 2011.
- Mladenovic, N., Brimberg, J., Hansen, P. e Moreno-Perez, J.** (2007), The p -median problem: a survey of metaheuristic approaches, *European Journal of Operational Research*, 179, 927-939.



OPAS, Organização Pan-Americana de Saúde. Situación de Salud de las Américas 2005, Indicadores Básicos, <http://www.paho.org/spanish/dd/ais/IB-folleto-2005.pdf>, acesso em maio de 2011.

Rais, A. e Viana, A. (2010), Operational research in healthcare: a survey, *International Transactions in Operational Researchs*, 18, 1-31.

Reese, J. (2005), Methods for solving the p -median problem: an annotated bibliography. *Department of Mathematics*, Trinity University, San Antonio, Texas, EUA.

Rezende, F.A.V.S., Varnier-Almeida, R.M. e Nobre, F.F. (2000), Diagramas de Voronoi para a definição de áreas de abrangência de hospitais públicos no município do Rio de Janeiro, *Cad Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 16(2): 467-475.

Salaverry, O., Cárdenas-Rojas, D. (2009), Establecimientos asistenciales del sector salud, *Rev. Perú Med. Exp. Salud Pública*, Perú, 26(2), 264-67.

Vallejos S.C. (2006), Plan Nacional de Salud, *Ministério de Salud*.

Weber, A. (1909), Über den Standort der Industrien, Tübingen, Germany, English Translation: Friederich, C.J. (1929). *Theory of the Location of Industries. The University of Chicago Press*, Chicago.