



Claudio Amarante de Almeida Magalhães

**Localização de equipamentos públicos:
estudo de caso dos templos católicos na
Barra da Tijuca e Recreio dos
Bandeirantes, Rio de Janeiro.**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio.

Orientador : Prof. Nelio Domingues Pizzolato

Rio de Janeiro
Dezembro de 2013



CLAUDIO AMARANTE DE ALMEIDA MAGALHAES

**Localização de equipamentos públicos: estudo de caso dos
templos católicos na Barra da Tijuca e Recreio dos
Bandeirantes, Rio de Janeiro**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental (opção profissional) pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Nélio Domingues Pizzolato

Presidente / Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Celso Romanel

Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio

Profa. Fernanda Maria Pereira Raupp

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Paulo Henrique de Almeida Rodrigues

UNESA

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial de Pós-Graduação
do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 18 de dezembro de 2013.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Claudio Amarante de Almeida Magalhães

Formado em Engenharia Civil pela PUC-Rio (1981), com cursos de pós graduação em Engenharia de Produção (PUC-Rio), em Planejamento de Transportes (Univ. Hokkaido, Japão) e Pesquisa Operacional (Univ. Linköping, Suécia). Em 1994 fundou a Kartor Consultoria e Informática, empresa de TI com especialização em Sistemas de Informação Geográfica aplicados a telecomunicações, logística de distribuição, transportes e cadastros técnicos. Foi gerente de distribuição do Jornal do Brasil, quando coordenou e gerenciou as atividades de planejamento, transportes e distribuição de jornais da empresa. Como chefe de transportes da Shell Brasil gerenciou as atividades de transporte da empresa em todo o país.

Ficha Catalográfica

Magalhães, Claudio Amarante de Almeida.

Localização de equipamentos públicos: estudo de caso dos templos católicos na Barra da Tijuca e Recreio do Bandeirantes, Rio de Janeiro / Claudio Amarante de Almeida Magalhães ; orientador: Nélio Domingues Pizzolato. – 2013.

94 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2013.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Engenharia urbana e ambiental. 3. Localização de equipamentos urbanos. 4. Localização de igrejas. 5. Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes. 6. Sistema de informações geográficas. 7. Modelo da p -mediana. I. Pizzolato, Nélio Domingues. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. III. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Nelio Domingues Pizzolato que acompanhou todos os passos do trabalho com amizade, entusiasmo, dedicação, sabedoria e objetividade.

Ao corpo docente programa de Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio e da Technische Universität Braunschweig, especialmente o Professor Celso Romanel, coordenador do programa e a secretária Paula Enoy, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado.

Aos Professores que participaram da Banca examinadora.

Aos meus colegas que proporcionaram momentos inesquecíveis durante o período do curso.

Aos meus amigos Antonio José Junqueira Botelho, Carlos Eduardo de Almeida Barata e Cristiano Augusto Coelho Fernandes, que colaboraram para a elaboração da dissertação.

Aos meus familiares que sempre incentivaram e apoiaram a iniciativa de realização do mestrado.

A todos o meu muito obrigado.

Resumo

Magalhães, Claudio Amarante de Almeida; Pizzolato, Nelio Domingues (Orientador). **Localização de equipamentos públicos: estudo de caso dos templos católicos na Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2013, 94p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação examina o problema da localização de uma rede de equipamentos públicos. O estudo aborda as etapas de modelagem do problema, concepção e correção da base de dados, utilização de funções geográficas, monitoramento dos resultados e comparação das soluções obtidas por diversos algoritmos. O objetivo do estudo é determinar a localização dos equipamentos, de forma que o somatório das distâncias percorridas por seus usuários seja mínima, ou seja, o objetivo é minimizar a inconveniência coletiva dos usuários, a qual é medida pelo produto do número de usuários vezes a menor distância ao equipamento mais próximo. O trabalho baseia-se em outros estudos propostos para localizar serviços de saúde, ensino, e atividades gerais de serviços, fundamentados no modelo da *p*-mediana, e resolvidos por métodos heurísticos e exatos. O estudo de caso abordou a localização dos templos católicos existentes na Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, RJ. A circulação nesses bairros foi projetada, privilegiando o uso de automóvel em vias expressas, mas contrariando o conceito ambientalista de mobilidade. O estudo busca avaliar a atual localização da rede de templos, assim como avaliar a sua estabilidade, com o objetivo de minimizar a inconveniência coletiva. Além de avaliar a atual localização, o estudo estabelece o local ideal para adicionar um novo templo, bem como simular a alienação de uma unidade dentre as existentes. Para buscar as melhores alternativas foram usados métodos heurísticos tradicionais: o método Guloso e o de Maranzana, além de ser proposta uma nova metodologia heurística, e, igualmente, encontrada a solução ótima, que serviu de comparação.

Palavras-Chave

Localização de Equipamentos Urbanos; Localização de Igrejas; Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes; Sistema de Informações Geográficas; Modelo da *p*-mediana; Engenharia Urbana e Ambiental.

Abstract

Magalhães, Claudio Amarante de Almeida; Pizzolato, Nelio Domingues (Advisor). **Locating public facilities: study case of catholic churches in Barra da Tijuca and Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2013, 94p. MSc Dissertation - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This Master's thesis in Urban and Environmental Engineering, deals with the problem of locating a network of public facilities. This topic is certainly important whenever one strives for efficient and sustainable urban planning. As in any large city, the location of a public facility affects the movement of people, transportation flows, infrastructure distribution, product logistics and waste management, among other activities.

Such topic grows in importance when the study is directed to urban settings facing large growth rates and which demand constant changes in the equipment network. This is the case of most large Brazilian cities that continue to undergo significant density increases resulting from real estate speculation and internal migration. Therefore, the thesis' theme draws upon several disciplines of the Urban and Environmental Engineering Program professional master's program and meets its objectives.

2 Objectives of the Study

The thesis topic is necessarily multidisciplinary; involving a number of subjects of the Program such as the location of a network of facilities, location methodology, and a data base founded on geo-processing methods transportation flows etc. Its main objective is to address the issue of location of Catholic churches in two districts of Rio de Janeiro, the former capital state of Brazil, with the aim of reducing the public inconvenience incurred by the faithful to reach them and contributing to establish their optimum sizes.

The case study covers two important and recently developed districts of Rio de Janeiro, namely Barra da Tijuca and Recreio dos Bandeirantes, which

experience a dramatic population growth and where the location of churches or other kind facilities is a matter of relevance.

The methodology used in this study can be applied to other religious denominations, but the choice of Catholicism is quite natural for reasons that will be made explicit in coming pages. To the best of our knowledge, the selected subject is original and it has not been identified in our bibliographic search.

Secondary objectives resulting from the need to address related aspects of the main objective are:

- provide public authorities an additional decision tool to contribute to a solution of the problems of mobility and public and private transportation user comfort;
- present a methodology to structure the data based on Geographic Information System (GIS); and
- describe the organizational structure of the Catholic Church, with a focus on the spatial location of the churches and chapels in the area under study.

3 The Catholic Church Context

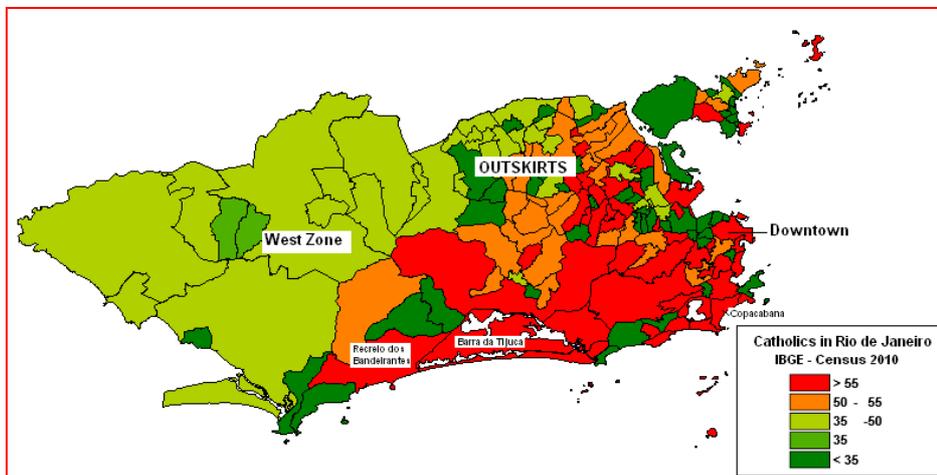
The evolution of the Catholic Church in Brazil has been directly connected to the role of colonial authorities, with the arrival of the Portuguese conquerors in Brazil in 1500. Up to the Proclamation of the Republic in 1889, which succeeded National Independence in 1822, the Catholic Church was the exclusive religion and controlled civilian registers and shared with the State the planning of the country's political and administrative units.

The traditional occupation pattern has located the powers of the State, the churches and the more affluent society around the centers, while traders and housing of the poor remained in the periphery.

With the advent of the Republic, the Church was separated from the State and other religious denominations have been allowed. Nowadays one observes an impressive growth of the Evangelical and Pentecostal Churches which attract mainly the poorer living in peripheral regions, in which the Catholic Church is less present”.

These churches are subdivided in a large number of sects, although individually they still do not represent large fractions of the population either in Brazil as a whole (64.4% Catholics) or in the municipality of Rio de Janeiro (51% Catholics). In 2010, according to the National Census Bureau, there were in Rio de Janeiro: 15.7% declared agnostic, 8.9% belonging to God’s Assembly, 8.0% to general evangelical groups, 4.1 belonging to ‘Espiritism’ , 3.6% were Baptists, 1.7% belonged to Universal Church of the Reign of God, and the rest to a large number of other Christians and non-Christians denominations. These numbers justify the focus of this study in the Catholic Church. In addition, contrary to most of the other denominations, the Catholic Church has a centralized control which directs its expansion plans. The Catholic Church experiences a continuous decline explained by a variety of aspects.

Map 1 presents the spatial distribution of Catholics in the municipality of Rio de Janeiro, which follow the early occupation patterns of the church. The highest concentration of Catholics are in the districts of the Center and South Areas, losing participation in several strongholds, in the West zone, and in the Outskirts of the city and its Metropolitan Area.



Map 1 - Participation of Catholics in the city of Rio de Janeiro.
Source: Census Bureau Data, IBGE 2010.

To illustrate the study context the following information will be presented:

In an interview in Rio de Janeiro, during the Youth World Meeting 2003, Pope Francis mentioned that the lack of physical proximity with the faithful might be a factor for losing a large number of members.

In the book “*Religião e Sociedades em Capitais Brasileiras*”, Professor Romero Jacob et al. (2013) state that the Catholic Church cession of space to Evangelical churches is due to its reduced agility for three reasons:

- while the Catholic Church has a bureaucratic structure based in Rome removed from local reality, the decentralized nature of Evangelical Churches allows for a decision process tightly coupled to the claims and wishes of their herd;
- the education of the priests to serve the Catholic Church is significantly longer and more demanding than the one required by the Evangelical pastors, restraining its expansion and evolution and
- the construction costs of a Catholic parish are higher than those for establishing an Evangelical temple;

Guerra (2003), apud Campos (2011), describe efforts taken by the Catholic Church to reverse this trend:

“The growth of the Evangelical church and loss of faithful has led the Catholic church to adopt new forms of actions such as the adoption of management models of private business style, centralization of administrative and financial management, the concentration of ecclesiastic power, the employment of professional staff, the use of marketing strategies, and the establishment of productivity goals for priests and bishops.”

In so far this study matches the strategies proposed by Guerra as the optimization method proposed for locating a network of parishes and their respective territories, will increase the church proximity with the faithful, will optimize space occupation and will introduce systematic evaluation and simulation procedures.

4 Location Methodology

Location problems have always been of interest to practitioners and academics. From remote times these problems have been object of studies by different sciences such as mathematics, physics, engineering, economy, and operational research and, in general, resources management. The importance of this theme is being renewed in approaches that include environment factors.

If we take management science as the basis, or operations research as a more restricted term, the most popular applied studies are related to the location of public facilities, such as schools, maternities, health services, fire stations, ambulances, post services and so on, inspired on direct needs of society, as well as radars, communication centers, oil platforms, distribution centers, etc., inspired on the needs of companies.

The most employed methodology to the study of the location of public urban facilities is, certainly, the p -median model. In simple terms, the center of gravity corresponds to the case $p = 1$, or the 1-median problem, and its generalization consists in finding several centers of gravity, or the p -median problem. Thus, the client may choose where to be served, which depends on p different choices or alternatives, and this favors the satisfaction of the geographically dispersed society's demand. In analogy to the center of gravity which is the point that minimizes the weighted sum of distances to this central point, the p -median problem finds p points that minimize the sum of the weighted distance from all vertices to their closest point among these p vertices.

The usual definition of a facility location problem in a network consists of making the choices of locations in such a way that the collective costs, discomfort, or inconvenience be minimized. In other words, the goal is to minimize the weighted sum of the shortest distances between those claiming for the service and their closest facility.

The p -median problem may be formulated as the PPM model below, in which the decision variables are x_{ij} that represent the decision of clients that are in vertex i to be served by the facility that exists in vertex j (case $x_{ij} = 1$) or, otherwise, be served somewhere else (case $x_{ij} = 0$):

$$\text{(PPM)} \quad \text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i d_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Subject to:} \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1; \quad i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = p \quad (3)$$

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

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

where:

- $[d_{ij}]_{n \times n}$ is the symmetric distance matrix, in which $d_{ii} = 0, \forall i$;
- $[x_{ij}]_{n \times n}$ is the allocation matrix, with $x_{ij} = 1$ if vertex i is allocated to vertex j , and $x_{ij} = 0$, otherwise; and also: $x_{jj} = 1$ if vertex j is a median and $x_{jj} = 0$, otherwise;
- p is the number of facilities or medians to be located;
- n is the number of vertices in the network and $N = \{1, \dots, n\}$;
- w_i represents the weight of vertex i ;

The PPM objective function (Equation 1) to be minimized is the weighted sum of distances of each vertex to its closest median; restrictions (2) and (4) require that each vertex i be allocated to a unique vertex j , which ought to be a median; restriction (3) determines the exact number of p medians to be located, while restriction (5) establishes integrality

The p -median problems generally present a very large search space and their exact solutions require the use of methods based on Integer Linear Programming, with advanced algorithms. Heuristic methods, otherwise, are based on a simple logic and are, in principle, of easy implementation. On the other hand, these methods do not warrant an optimal solution but rather a good one. In our understanding, in problems that affect the society the aggregation of preferences makes the optimality of the solution a quite relative concept, since it depends on the quality of the data and the conformity of society at large.

In the case study addressed below, the following methods and algorithms have been used:

- Evaluation of the actual geographical locations, or the present collective inconvenience, in order to quantify how good or poor the present locations of the churches are. In addition, some tests and quantitative indicators are derived such as: i) the maximum and the average distance travelled by one devoted to reach its closest church; ii) if one church is to be eliminated, what would be its consequences; in particular, which is the church whose elimination has the least inconvenience effects; and iii) if a new church is to be constructed what would be its proposed location. The other methods have a more theoretical use, ignore the present locations and evaluate where the churches should be located.
- The Greedy Algorithm, which progressively finds locations or medians, that reduce the collective inconvenience;
- The early Algorithm of Maranzana (1964) starts from an arbitrary solution with p -medians and, using a number of steps, moves this solution towards a better one. This work has tried a number of strategies to define the values of the initial solution.
- A Mix Algorithm, proposed by the author, tries to improve the solution found by the previous method. Basically, it considers the attraction areas defined by the previous method and tries to improve the solution making a complete enumeration among all vertices that belong to its immediate neighborhood areas. Thanks to the GIS methodology, which generates a neighborhood matrix, the vertices of the neighborhood areas are defined and the complete enumeration is locally applied.
- The exact or optimal solution was calculated by a *branch and cut* algorithm, as described by Alzamora (2013). The optimal solution is certainly non realizable since the churches cannot be displaced, but it serves to quantitatively evaluate the present locations and quality of the proposed heuristics.

5 The Case Study

5.1 Context

The objects of the study are the catholic churches and chapels that exist in the districts of Barra da Tijuca and Recreio dos Bandeirantes, in the municipality of Rio de Janeiro. The entire area has been subject to an intense urbanization process which started in the 80`s, following the Director Plan of the urban planner Lúcio Costa. The plan conceived high buildings located in closed condominiums, and *shopping centers*, interconnected by expressways, favoring the use of private cars.

In the course of the last three decades, the region has faced a strong demographic pressure as shown in Table 1. In the 1980-2010 periods, whereas the population grew by 24% in the whole municipality of Rio de Janeiro, in the districts under study this growth was around 649%. On the other hand, official projections estimate that the present rate of growth rate will be maintained at least into the present decade.

Table 1 – Population growth in the study area and in the city of Rio de Janeiro

YEAR	Study Area	Rio de Janeiro
1980	29,127	5,090,700
1991	77,836	5,336,179
2000	129,805	5,851,914
2010	218,063	6,323,037
2020 (1)	285,748	6,661,359

Source IBGE, Census data since 1980;

(1) Projection - Instituto Pereira Passos for the RA XXIV – 2013 January

Quite often, this growth was anarchic and out of agreement with the original planning. This brought about problems of congestion of public equipment and the public highways, with a resulting loss of mobility and reduced quality of life for its inhabitants.

Similarly, the network of Catholic churches has not followed the population growth in the area, resulting in excessive public in the cults, very long displacements to reach them, and, consequently, evasion of the faithful which have to rely on cars to reach the churches.

In this way, a study on the optimal location of the churches shall minimize the distances covered by the faithful and reduce the number of those that rely on private cars, thus decreasing air pollution and congestion. Ultimately it may enhance the attractiveness of Catholic churches.

5.2 Methodology

The fundamental assumption of the study, found in the p -median model, is that users of a public facility prefer the one closest to his/her residence to reduce displacement time or inconvenience.

For the study case, the catholic churches selected for the study are those that offer a Sunday service in the given districts of Barra da Tijuca and Recreio dos Bandeirantes. Those churches are shown in Map 2.

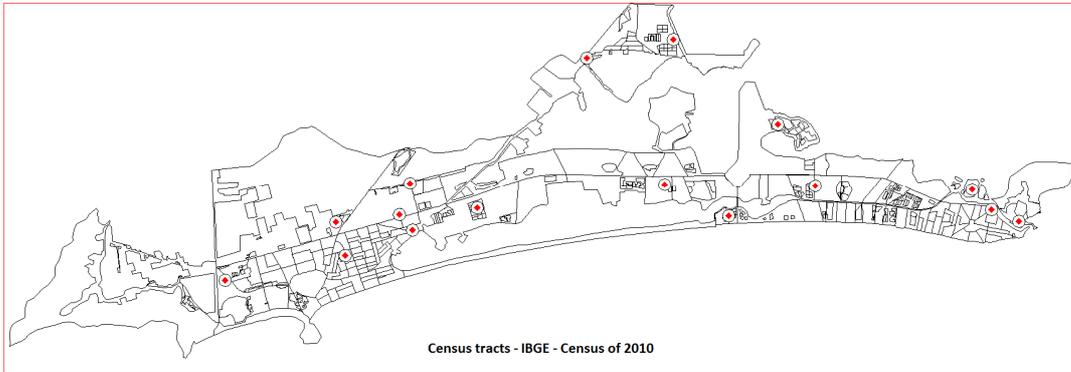


Map 2 - The region under study and the location of 13 churches and 3 chapels.

Field visit interviews with parishioners were made, data on Catholic churches and tabulated data and maps were collected from IBGE Census Bureau and the Instituto Pereira Passos of the municipality of Rio de Janeiro data bases.

Data was compiled in tables and maps using the MapInfo Professional version 6 software program, applications developed on MapBasic 6.0 software were run upon them and integrated with satellite images from the Google Earth.

The resident was collected according to the IBGE Census Bureau 2010, by using census tracts, which are small units for controlling the space and collecting the data. The Map 3 shows the existing churches and the 350 census tracts defined for the region. On average, each tract has 216 family units and 628 residents.



Map 3 – Churches and Census tracts at Barra da Tijuca and Recreio dos Bandeirantes.
Source: IBGE – Census of 2010.

Since every census tract only informs the total population, the catholic population in each was derived using an average computation, i.e., the number of Catholics were estimated using sample data made by the same Census Bureau for 2010.

The population of each census tract was allocated to its mass center, called centroid. The location of every mass center was important for subsequently measuring distances between centroids. For this effect, ortophoto maps have been employed which aggregate tracts inside condominiums, as shown in Figure 1, and placing its centroids at points of housing concentration houses, as shown in Figure 2.

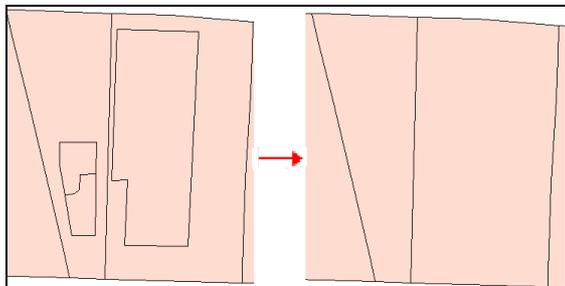


Figure 1

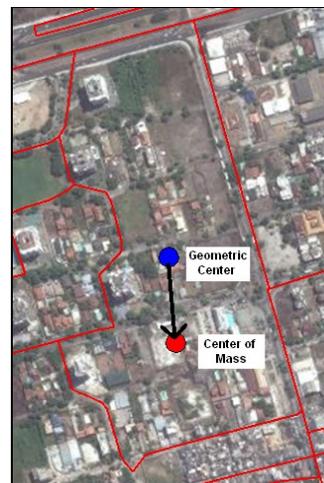


Figure 2

Computation of distances between every pair of vertices among the 238 centroids was made over the most important highways of the region. Using a network of auxiliary symmetric arcs, Figure 3 presents the connection of every centroid to the highway network. These connection points play the role of fictitious vertices without any population, but required for a precise measurement of distances between two vertices. The length of every arc was calculated using GIS methodology.



Figure 3. Auxiliary network of symmetric arcs.

Once the length of each arc of the network was determined, the Floyd Algorithm was employed to calculate distances between every pair of centroids, producing a symmetric distance matrix between all 238 centroids.

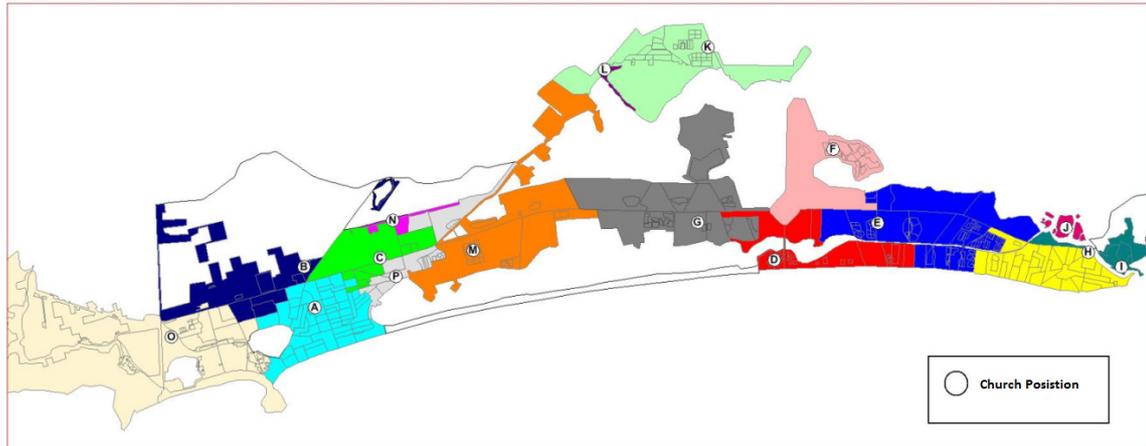
Next, an asymmetric matrix using the relation: $C_{ij} = w_i * d_{ij}$ was generated. The size of the matrix is 238x238 and each element indicates the weighted cost, or inconvenience, for the population that lives in vertex i , which number w_i , to reach the vertex j , which is at a distance d_{ij} .

5.3 Description of the Experiments

About nine different experiments have been made. The first three refer to the existing churches network; the next five experiments apply heuristic methods; and the last experiment calculates the optimal solution. For each region, in all the experiments the following information have been collected, all of them displayed in the coming tables and maps, and these are: the population of Catholics and the

total population; the church attraction area in square km, the maximum distance; the average distance; and the collective inconvenience Z .

- In Experiment 1 the characteristics of the present churches location have been determined. Using different colors, Map 4 indicates the attraction areas for each church over the studied area.



Map 4 – Attraction areas according to actual location.

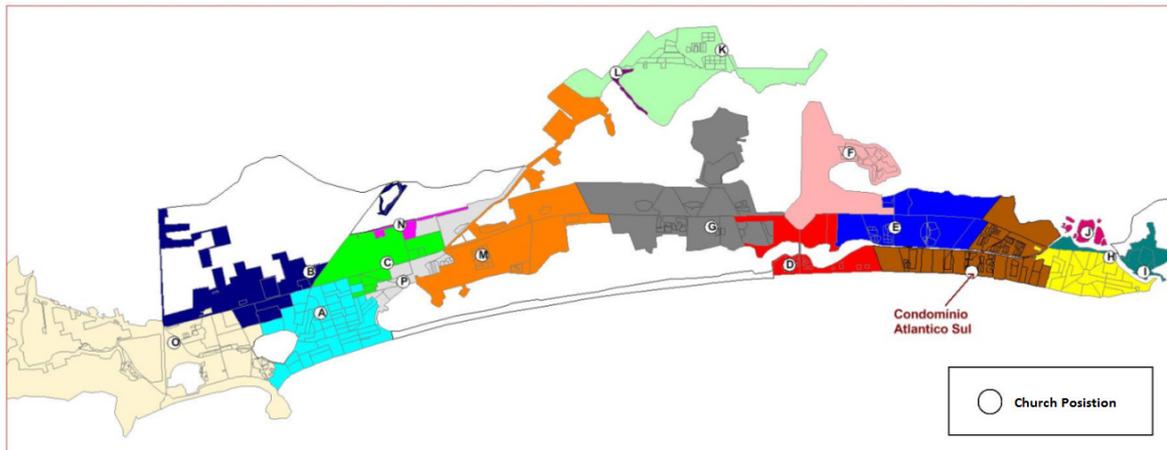
Table 2 lists the existing churches and indicates several quantitative indicators, as explained before. A particular information of great importance is the value of Z , the collective inconvenience of the actual locations.

Table 2 – Qualitative indicators of the Attraction Areas of each existing church.

ID	Color	Church	Number of Catholics	Population	Área Sq.km	Maximum Distance Meters	Medium Distance meters	Cost Z/1000
A	Cyan	Imaculada Conceição	20,497	33,983	2.95	2,278	804	16,483
B	Dark Blue	São Tarcísio	6,400	11,453	3.00	2,959	1,438	9,205
C	Green	Santa Paulínia	3,236	5,425	1.85	1,233	688	2,226
D	Red	Nossa Senhora da Vitória	8,994	12,812	2.18	2,942	1,347	12,114
E	Blue	Santa Rosa de Lima	28,596	44,277	4.56	3,022	2,010	57,464
F	Pink	Santo Antonio	3,727	5,949	2.82	659	85	316
G	Grey	Santo Agostinho	14,075	22,215	5.26	1,815	935	13,157
H	Yellow	São Francisco de Paula	15,176	22,954	2.24	2,638	1,252	19,002
I	Teal	Santa Terezinha	1,326	2,018	0.70	1,781	324	430
J	Magenta	São Pedro (FIX)	1,065	1,670	0.24	0	0	0
K	Light Green	São Marcelino Champagnat	11,762	20,088	3.90	2,822	1,075	12,645
L	Purple	São José Operário (FIX)	799	1,252	0.10	0	0	0
M	Orange	São Marcos	8,869	14,024	4.90	2,288	771	6,841
N	Pink	São José do Beira Rio (FIX)	3,064	5,349	0.22	0	0	0
O	Light Yellow	Paróquia São Pedro do Mar	16,450	30,303	12.24	1,942	1,285	21,144
P	Grey	Santuário de Fátima	5,744	9,103	1.42	1,270	611	3,512
		TOTAL	149,780	242,875	48.58		1,165	174,538

Note that the three small chapels, having a suffix (FIX) on Table 2 are considered to serve a small and specific local population, and have been excluded from the remaining experiments

- Experiment 2 evaluated the ideal location for constructing a new church ($p=13+1$). The result is shown in Map 5. The new solution has brought a 22 % reduction in the collective inconvenience, Z .



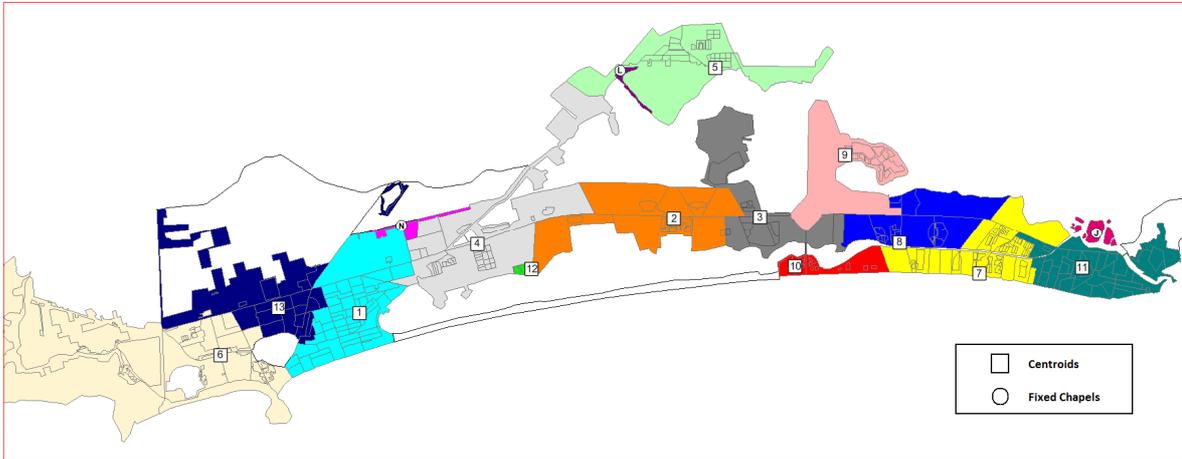
Map 5 – Attraction Areas IF a new church is constructed in the South Atlantic Condominium.

- Experiment 3 simulated the elimination of one church ($p=13-1$), in order to find the one whose elimination promotes the least increase in the collective inconvenience. The solution imposes an increase of only 1 % in the value of Z .

Experiments 4 through 8 ignore the present location of the churches and make use of heuristic methods to try to find their ideal location:

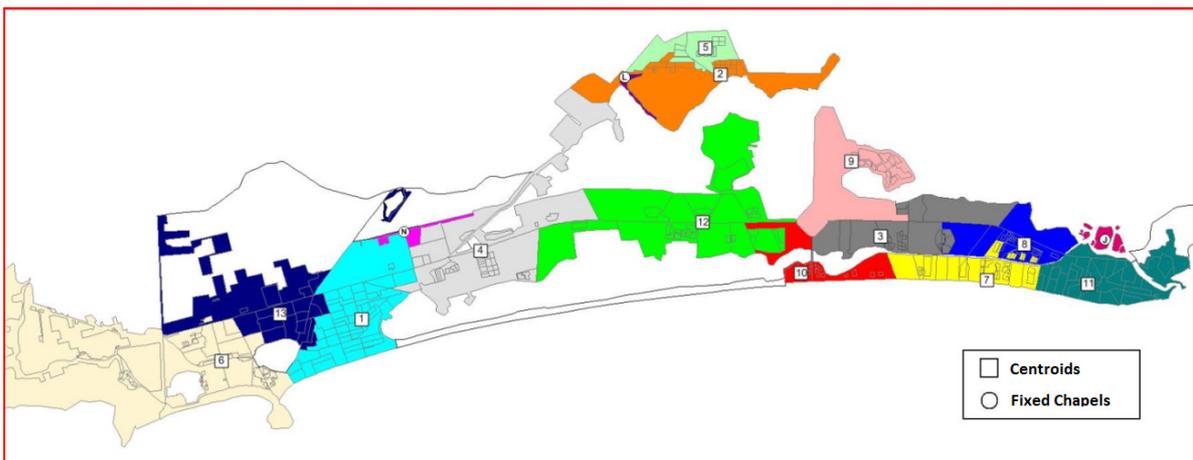
- Experiment 4 was called Mrz-Atu and has applied the Maranzana Method, using as its initial arbitrary solution, $p=13$, the actual position of the existing churches.
- Experiment 5 was called *Misto-Mrz-Atu* and has executed the Mix Method, after using the Method of Maranzana (Experiment 4).
- Experiment 6 has used the Greedy Method to identify the $p=13$ points.
- Experiment 7 was called Mrz-Gul and has applied the Maranzana Method using as its initial arbitrary solution, $p=13$, the solution obtained by the Greedy Method.

- Experiment 8 was called *Misto-Mrz-Gul* and has applied the Mix Method to the result found by the Maranzana Method (Experiment 5). Incidentally, this result is presented on Map 6, and it is the best heuristic solution found. The collective inconvenience is 33 % below the present church distribution.



Map 6 – Solution resulted from the use of *Misto-Mrz-Gul* and consequent attraction areas

Finally, Experiment 9 finds the optimal solution using the branch and cut algorithm. Since the present location is not subject to any change in their location the optimal location of the 13 points of the network had the objective to evaluate the relative quality of the heuristics used. The results are displayed on Map 7 and, interestingly, the collective inconvenience is 35 % lower than the value of Z in the present setting.



Map 7 – Attraction Areas: Optimal Solution

5.4 Results Evaluation

Table 3 summarizes the results of the nine experiments.

Table 3: Synthesis of the Indicators

Solution	Cost Z/1000	Cost Variation (%)	Dispersion	Dispersion Variation (%)	Medium Distance (m.)	Maximun Average Distance (m.)	Average Max.Dist Variation (%)
Present Network	174,538		1.038		1,165	1,975	
P=14	136,326	- 22	0.770	- 26	910	1,890	- 4
P=12	175,751	+ 1	0.965	- 7	1,173	2,273	+ 15
Mrz-Atual	127,393	- 27	0.757	- 27	851	1,969	- 0
Misto-Mrz-Atu	121,322	- 30	0.730	- 30	810	865	- 6
Guloso	144,209	- 17	1.042	+ 0	963	2,057	+ 4
Mrz-Gul	142,053	- 19	1.008	- 3	948	2,164	+ 10
Misto-Mrz-Gul	117,109	- 33	0.741	- 29	782	1,927	- 2
Exact	112,711	- 35	0.655	- 37	753	2,033	+ 3

We have consistently considered that the most important efficiency indicator is the value Z, or the collective inconvenience. However, Table 3 suggests other appropriate indicators such as the maximal distances, the average maximal distance, the homogeneity among regions, and so on. The homogeneity may be expressed by the dispersion coefficient of Z, which is calculated by the standard deviations of the costs Z divided by the average Z.

Concluding the evaluation of the results, we may state that:

- With solutions not too far from the optimal one, the results obtained suggest that concerning the collective inconvenience the Mix Method, specially, has offered good proposals. The development of a neighborhood

matrix has favored the identification of improved solutions with computational advantages since unnecessary searches have been avoided.

- The economies brought by the Maranzana and Mix Method are dependent of the quality of the initially arbitrated solution.
- The gains obtained regarding the collective inconvenience, Z , do not imply more homogeneous results when other indicators are considered.
- The averages of the maximum distances are uncorrelated to the collective inconveniences, Z .

6 Conclusion

This study is clearly convergent with the objectives of the Master Program in Urban and Environmental Engineering, as it deals with the optimization of resources, improvement in mobility and reduction of urban problems faced by regions with accelerated process of development.

According to the simulations performed, an additional procedure proposed in the present research – the Mix Method - was able to improve the current heuristic solutions. According to the results found, it was possible to conceive a solution which reduces by 33 % the total displacement cost of the devoted, value only 4 % less than the one obtained by the optimal solution.

The use of geoprocessing methodologies brought an important contribution to the study, as it has identified distortions noted from the direct utilization of the data base with census tracts. This has allowed the refinement of the results through the use of automated corrections on local problems and to determine the vertices of neighboring regions candidates to interact on the Mix Method.

The results might be interpreted as distance cost indicators which, conjointly with other indicators, may offer elements for the decision making process based on quantitative methods.

It is clear that this study does not consider feasible any kind of displacement of churches or chapel from their present location to the found locations. However, a detailed analysis of data and maps might contribute to dimension the capacity of the temples and the frequency of the masses, according to the estimated demands given by the models. The dimensioning is certainly dependent on the capacity of faithful per mass in each church.

A similar methodology may be employed in other location activities in many areas around the country, as long as they use census tract data from IBGE. In the new areas it may be also possible to evaluate the behavior of the proposed algorithms in order to make a more precise evaluation of its efficacy. At the same time, the methodology may be applicable to locating several other sorts of facilities.

Keywords

Location of Urban Equipments; Location of Churches; Geographic Information Systems; The p -median model; Urban Sustainability.

Sumário

1. Introdução	28
1.1. Considerações Gerais	28
1.2. Objetivos	30
1.3. Delimitação do Assunto	31
1.4. Justificativa do Trabalho	31
1.5. Metodologia	33
1.6. Estrutura da Dissertação	34
2. Considerações sobre a Igreja Católica	35
2.1. Breve histórico da Igreja Católica no Brasil	35
2.2. Organograma da Igreja Católica	37
2.3. A Questão Territorial	38
2.4. A Igreja Católica no Rio de Janeiro	41
2.5. Problemática	46
3. Problemas de Localização	49
3.1. Definição	49
3.2. Localização no Plano	51
3.3. Localização em uma Rede	53
3.4. Método Exato e Métodos Heurísticos	54
3.4.1. O método exato para o problema da p -mediana	54
3.4.2. Métodos heurísticos para a p -mediana	56
4. Estudo de Localização dos Templos Católicos na Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes	60
4.1. Objeto do Estudo	60
4.2. A Região do Estudo	62

4.3. Delimitação Geográfica	62
4.4. Levantamento dos Dados	63
4.5. Metodologia de Localização	64
4.6. Modelagem dos Dados	66
4.6.1. População de Católicos	66
4.6.2. Polígonos Concentradores da População de Católicos	67
4.6.3. Vértices ou Centroides	68
4.6.4. Distâncias d_{ij}	69
4.6.5. Custos de Deslocamento dos Fieis c_{ij}	71
4.7. Estudos Efetuados	71
4.7.1. Território dos Templos Atuais	75
4.7.2. Local para Implantação de um Novo Templo	76
4.7.3. Retirada de um Templo	77
4.7.4. Experimento 1.1 - (<i>Mrz-Atu</i>) - Maranzana Aplicado à Rede Atual	78
4.7.5. Experimento 1.2 - (<i>Misto-Mrz-Atu</i>) - Misto Aplicado à solução <i>Mrz-Atu</i>	79
4.7.6. Experimento 2.1 - (<i>Gul</i>) – Localização dos 13 pontos pelo Método Guloso	80
4.7.7. Experimento 2.2 - (<i>Mrz-Gul</i>) - Maranzana a partir do Guloso	81
4.7.8. Experimento 2.3 - (<i>Misto-Mrz-Atu</i>) - Misto Aplicado à solução <i>Mrz-Gul</i>	82
4.7.9. Solução Exata	83
4.8. Avaliação dos Resultados	84
4.8.1. Dados Analisados	84
4.8.2. Análises	86
4.8.3. Conclusão das Avaliações	87
5. Conclusão	89
Referências Bibliográficas	91

Lista de tabelas

Tabela 1	Evolução da População nos bairros da Área de Estudo e no Rio de Janeiro.	32
Tabela 2	Participação Religiosa no Estado do Rio de Janeiro.	42
Tabela 3	Religiosidade nos Bairros da Cidade do Rio de Janeiro.	43
Tabela 4	Relação dos 16 templos Católicos do estudo de caso.	60
Tabela 5	Indicadores da Rede Atual.	75
Tabela 6	Indicadores da Rede com Inclusão de um Templo.	76
Tabela 7	Indicadores da Rede com Retirada de um Templo.	77
Tabela 8	Indicadores da Rede criada pelo Método <i>Mrz-Atu</i> .	78
Tabela 9	Indicadores da Rede criada pelo Método <i>Misto-Mrz-Atu</i> .	79
Tabela 10	Indicadores da Rede criada pelo Método Guloso.	80
Tabela 11	Indicadores da Rede criada pelo Método <i>Mrz-Gul</i> .	81
Tabela 12	Indicadores da Rede criada pelo Método <i>Misto-Mrz-Gul</i> .	82
Tabela 13	Indicadores da Rede da Solução Exata.	83
Tabela 14	Resumo dos Indicadores.	85

Lista de mapas

Mapa 1	Freguesias do Município do Rio de Janeiro.	40
Mapa 2	Sub-Prefeituras do Município do Rio de Janeiro, 2013.	40
Mapa 3	Vicariatos do Município do Rio de Janeiro, 2013.	41
Mapa 4	Participação dos católicos na cidade do Rio de Janeiro.	43
Mapa 5	Região de estudo com as Igrejas e Capelas.	61
Mapa 6	Foranias e Paroquias do Vicariato Jacarepaguá	61
Mapa 7	Região do Rio2, violando os limites da Barra da Tijuca.	63
Mapa 8	Capelas com Atratividade Fixa.	65
Mapa 9	Templos e Setores Censitários da Região de Estudo.	66
Mapa 10	Concentrações de Católicos na Região de Estudo.	67
Mapa 11	Áreas de Influência da Rede Atual.	75
Mapa 12	Áreas de Influência da Rede Incluindo um Templo.	76
Mapa 13	Áreas de Influência da Rede Retirando um Templo.	77
Mapa 14	Áreas de Influência da Rede do Método <i>Mrz-Atu.</i>	78
Mapa 15	Áreas de Influência da Rede do Método <i>Misto-Mrz-Atu.</i>	79
Mapa 16	Áreas de Influência da Rede do Método Guloso.	80
Mapa 17	Áreas de Influência da Rede do Método <i>Mrz-Gul.</i>	81
Mapa 18	Áreas de Influência da Rede do Método <i>Misto-Mrz-Gul.</i>	82
Mapa 19	Áreas de Influência da Rede da Solução Exata.	83

Lista de figuras

Figura 1	Evolução da População da Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes (1980 – 2020).	32
Figura 2	Organograma da Igreja Católica.	37
Figura 3	Exemplo do Método Misto.	58
Figura 4	Eliminando a conectividade entre setores com barreiras geográficas.	68
Figura 5	Agrupando setores envolvidos por outros setores.	68
Figura 6	Deslocando o centroide para o centro de massa.	69
Figura 7	Rede auxiliar de Arcos Simétricos.	70
Figura 8	Estrutura da Rede Viária utilizada no estudo.	70
Figura 9	Gráficos Comparativos entre os resultados dos métodos aplicados	88

1 Introdução

1.1 Considerações Gerais

Problemas de localização sempre interessaram aos ambientes práticos e acadêmicos, e foram sempre vistos como relevantes na história humana, desde o homem primitivo, lutando por sua sobrevivência, ao moderno, buscando o seu bem-estar. Desde tempos remotos esses problemas foram objeto de estudo, segundo pontos de vista distintos, por diversas ciências, como a matemática, a física e a engenharia. No século passado, com a conjugação de fatores econômicos, em especial os custos, seu interesse chegou à economia, à pesquisa operacional e, em geral, à gestão de recursos. A importância do tema vem sendo renovada atualmente em abordagens que consideram fatores ambientais.

As primeiras metodologias remontam à antiguidade e buscavam a identificação de um único ponto, em geral um ponto de equilíbrio, e foram desenvolvidas sob inspiração de recursos matemáticos. Análises geométricas do problema nasceram na busca de centros de gravidade, distâncias mínimas, lugares geométricos, mediatrizes, bissetrizes etc.

Em eras mais recentes da história, de acordo com Drezner et al. (2004), os notáveis estudos atribuídos a Fermat (1601-1665) e Torricelli (1608-1647) basearam-se na geometria euclidiana, buscando a identificação de pontos no plano possuindo determinadas propriedades.

No ambiente econômico moderno, um desafio constante vem a ser, igualmente, a localização em um ponto que melhor atenda às preferências dos clientes ou ao conjunto da sociedade a ser beneficiada, mas atendendo a diversas especificações ou restrições intrínsecas ao problema. Entretanto, ao se localizar uma rede de serviços, ou seja, um conjunto de instalações, o problema ganha uma complexidade muito superior, decorrente da interação entre as soluções propostas.

A literatura sobre o tema é imensa, tornando-se inútil fazer um levantamento geral, mesmo que rotulado de representativo ou relevante. Em qualquer sistema de busca moderna, a palavra localização vai apontar uma virtual

infinidade de trabalhos, sejam livros, teses, dissertações, artigos em periódicos científicos, em eventos etc. No mundo atual, localização tornou-se um problema multidisciplinar, contendo condicionantes econômicos, tratados mediante modelagens, e resolvidos com recursos informáticos.

Tomando-se *management science* como base, ou pesquisa operacional, como sua expressão mais restrita, a literatura disponível é infinda. Entretanto, pode-se dizer que os estudos aplicados mais difundidos estão relacionados à localização de redes de serviços públicos, tais como escolas, maternidades, postos de saúde, bombeiros, ambulâncias, correios etc., motivados por necessidades diretas da sociedade, assim como radares, redes de comunicação, distribuição de energia, concentradores chamados *hubs*, centros de distribuição, plataformas petrolíferas etc., inspirados em necessidades de empresas. O trabalho de White et al. (2011) destaca aplicações observadas nos países outrora denominados de países *em desenvolvimento*, sobretudo nas áreas de ensino e de saúde. Um trabalho que relaciona uma ampla gama de aplicações ocorridas principalmente no ambiente brasileiro encontra-se em Pizzolato et al. (2012).

A metodologia mais aplicada ao estudo de localização de equipamentos urbanos, sem dúvida, vem a ser a p -mediana. Em termos simples, o problema do centro de gravidade corresponderia ao caso $p = 1$, ou problema da 1-mediana, e sua generalização consistiria em se achar vários centros de gravidade, ou p -medianas. Assim, o cidadão poderá escolher aonde ser atendido, dispondo de p alternativas, o que favorece o atendimento às demandas da sociedade, dispersa geograficamente. Como o centro de gravidade vem a ser um ponto que minimiza a soma das distâncias ponderadas de todos os vértices a esse ponto central, o problema da p -mediana vem a ser a escolha de p pontos de modo a minimizar a soma das distâncias ponderadas de todos os vértices ao ponto mais próximo dentre estes p pontos.

Recentemente, com uso da p -mediana e apoio dos sistemas de informação geográficos, Brondani et al (2013) publicaram um trabalho de localização de áreas de lazer em regiões do subúrbio do Rio de Janeiro. Como se sabe, áreas de lazer são recursos que melhoram a qualidade de vida, tornando as cidades mais agradáveis a seus moradores.

O presente estudo se dedica a estudar a localização de igrejas, vistas também como equipamentos urbanos que requerem a movimentação periódica dos fieis pelas vias. Portanto, sua melhor escolha deve contribuir para a melhoria da mobilidade e conforto dos fieis. Este estudo escolheu a rede de Igrejas Católicas por razões que serão justificadas logo adiante.

1.2 Objetivos

O estudo apresentado refere-se a um tema novo e, tanto quanto o autor tem conhecimento, jamais estudado. Dentre as várias fontes bibliográficas consultadas, incluindo o banco de tese da CAPES: <www.bdttd.ibict.br>, não se encontra registros de estudos de localização de Templos Religiosos. A área analisada refere-se aos bairros da Barra da Tijuca e do Recreio dos Bandeirantes, no município do Rio de Janeiro. Esses bairros constituem uma região de recente ocupação e de rápida urbanização, muito direcionada à classe média alta e ao uso do automóvel como meio individual de transporte, mas que evidencia sinais de saturação em suas vias, o que vem desestimular grandes deslocamentos.

O objetivo principal deste trabalho é propor uma metodologia baseada em técnicas de localização e dimensionamento para otimizar redes de equipamentos públicos, de acordo com suas características específicas, sob critérios de distâncias percorridas por seus usuários, e aplicada à localização de igrejas. No estudo de caso que acompanha a conceituação teórica do problema são apresentados os dados relativos à Igreja Católica. A justificativa desta escolha pode ser facilmente estabelecida, com base nos dados do IBGE, disponíveis na dissertação de Campos (2011). De acordo com os dados do Censo, apresentados mais adiante, a população católica é muito superior a de todas as demais crenças reunidas e, por outro lado, a Igreja Católica possui uma administração centralizada que gerencia as localizações dos seus templos, visando otimizar o atendimento. Certamente, como trabalho acadêmico, os princípios adotados nesta dissertação não excluem outras denominações religiosas, assim como podem ser usados para outros tipos de equipamentos urbanos.

Os objetivos secundários, resultantes da necessidade de abordar temas correlatos ao objetivo principal da dissertação são:

- Dotar as autoridades de uma ferramenta de decisão adicional que contribua para solucionar problemas de mobilidade e conforto dos usuários de transportes públicos e privados;
- Descrever a estrutura organizacional da Igreja Católica (arquidioceses, dioceses, vicariatos e paróquias), com especial interesse na distribuição espacial dos seus templos na região em estudo; e
- Apresentar uma metodologia de estruturação dos dados baseada em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

1.3 Delimitação do Assunto

O estudo teve como objeto as igrejas e capelas católicas existentes na região. Os dados utilizados são terciários e os levantamentos realizados em campo foram utilizados apenas de forma descritiva.

A premissa fundamental do estudo, incorporado ao modelo da *p*-mediana, é que os usuários de um equipamento urbano buscam preferencialmente o equipamento mais próximo de sua residência, de modo a reduzir seu deslocamento. Por fatores diversos, existem violações eventuais dessa regra, mas que são pontuais e não devem impactar o efeito quantitativo do estudo.

1.4 Justificativa do Trabalho

Ao longo das últimas décadas a Zona Oeste da cidade do Rio de Janeiro sofreu forte processo de urbanização e crescimento demográfico. Esse mesmo perfil de crescimento é observado na Área de Estudo da dissertação, compreendida pelos bairros da Barra da Tijuca e do Recreio dos Bandeirantes, localizados na Região Administrativa XXIV. A Tabela 1 indica que, no período 1980-2010, a população total desses bairros cresceu 649 %, índice bastante superior ao crescimento de 24 % verificado no município do Rio de Janeiro. Por

outro lado, as previsões de Lins et al. (2013) do Instituto Pereira Passos, da Prefeitura do Rio de Janeiro, projetam o mesmo ritmo de crescimento até 2020, implicando em grandes desafios administrativos para o governo e a sociedade. A figura 1 apresenta o gráfico desse crescimento na Área de Estudo.

Tabela 1 – Evolução da População nos bairros da Área de Estudo e no Rio de Janeiro.

ANO	Barra da Tijuca	Recreio dos Bandeirantes	ÁREA DE ESTUDO	Rio de Janeiro
1980	23.485	5.642	29.127	5.090.700
1991	63.492	14.344	77.836	5.336.179
2000	92.233	37.572	129.805	5.851.914
2010	135.920	82.143	218.063	6.323.037
2020 (1)	178.152	107.596	285.748	6.661.359

Fonte IBGE, Censos desde 1980;

(1) Projeção - Instituto Pereira Passos para a RA XXIV – Janeiro 2013

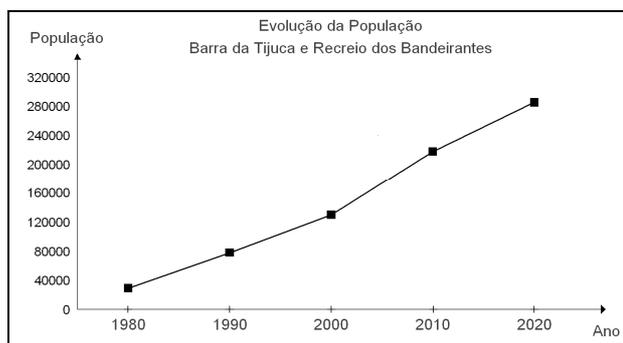


Figura 1: Evolução da População da Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes. Período 1980-2010 e estimado por Lins et al.(2013) para 2020.

Existe a percepção pública que a oferta em infraestrutura de transportes e equipamentos públicos não foi capaz de acompanhar o rápido crescimento demográfico da região. Esta situação tem causado congestionamento dos equipamentos públicos e das vias de tráfego, com perda da mobilidade e qualidade de vida dos seus habitantes.

O ideal é que qualquer sistema de equipamentos públicos esteja bem distribuído, próximo de seus usuários e que seja capaz de atender à demanda com ajustes periódicos de capacidade compatíveis com as variações demográficas da região de abrangência.

O estudo de caso da rede de templos religiosos insere-se nessa problemática. O dimensionamento da rede de templos, em termos de localização e capacidade, não acompanhou o crescimento demográfico da região, resultando nos seguintes danos às partes afetadas:

- Lotação dos templos e longos deslocamentos, causando desconforto para os fieis e mais tráfego nas vias;
- Evasão de fieis causada pela falta de proximidade física da Igreja Católica, um dos critérios fundamentais de atratividade, conforme mencionado pelo Papa Francisco em recente visita ao Rio de Janeiro;
- Problemas de mobilidade para a população em geral, decorrente da impossibilidade dos fieis chegarem a pé às igrejas.

Finalmente, os objetivos do Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-RIO, apresentados no website <http://www.urb.puc-rio.br/apresentacao.html>, são: “Proporcionar uma visão ampla e multidisciplinar de um modelo de desenvolvimento sustentável para as cidades brasileiras, com o objetivo de formar um profissional que reúna conhecimentos de **planejamento urbano**, engenharia ambiental, **transportes**, engenharia sanitária, **infraestrutura**, energia, **administração**, **sociologia**, **logística**, gerenciamento de resíduos e de recursos naturais em ambiente urbano.”

Neste sentido, a presente dissertação constitui um tema que abrange várias disciplinas do mestrado profissional de Engenharia Urbana e Ambiental e se insere em seus objetivos.

1.5 Metodologia

A metodologia empregada na dissertação consistiu nas seguintes atividades:

- Definição do tema.
- Especificação dos objetivos.

- Delimitação do escopo do estudo.
- Revisão da literatura.
- Levantamento dos dados documentais e por meio de pesquisas de campo, com ajuste de dados para uso das metodologias.
- Estudo de caso, efetuando simulações através de metodologias existentes e de um método proposto pelo autor.
- Avaliação dos resultados.

1.6 Estrutura da Dissertação

O Capítulo 1 da dissertação apresenta o escopo deste trabalho, explicita seus objetivos principais e secundários; delimita o assunto estudado e examina sua relação com os propósitos do mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental.

O Capítulo 2 descreve o histórico do processo de implantação das Igrejas Católicas na região e as características relevantes das mesmas.

O Capítulo 3 fornece uma visão dos problemas de localização, suas tipologias e considerações sobre localização em um plano e em rede, resumizando os vários procedimentos técnicos para localização de postos de serviço.

O Capítulo 4 apresenta o estudo de caso, abordando a localização dos templos católicos da Barra da Tijuca e do Recreio dos Bandeirantes. Descreve como foram tabulados e georeferenciados os dados utilizados. Em seguida, avalia os resultados encontrados com diferentes heurísticas para aprimorar a rede atual sob o critério de custos de mobilidade dos fieis, em um critério que pode ser denominado de minimização da inconveniência coletiva.

O Capítulo 5 apresenta a conclusão deste trabalho, com uma avaliação das alterações na rede com os resultados e recomendações para novos estudos.

2 Considerações sobre a Igreja Católica

O estudo de caso foca na avaliação da localização dos templos católicos, que está relacionada ao conceito de territórios. O tema relativo à formação de territórios é abordado sob vários enfoques nas publicações revisadas. Neste Capítulo serão mencionados aqueles julgados mais relevantes para o contexto da dissertação, como um breve histórico da Igreja Católica no Brasil e no Rio de Janeiro, sua estrutura hierárquica, uma descrição da sistemática de formação dos territórios de atuação da instituição e comentários sobre os problemas enfrentados atualmente pelo catolicismo face ao decréscimo relativo de sua participação.

2.1 Breve histórico da Igreja Católica no Brasil

A Igreja Católica chegou ao Brasil em 1500, integrando a comitiva de Pedro Álvares Cabral. Os religiosos vieram representando oficialmente a monarquia, em razão de Portugal estar ligado à Igreja sob o regime de Padroado.

O Padroado era um tratado no qual a Igreja delegava ao reino português o controle da atividade eclesiástica. O Estado cuidava da administração da Igreja em seus domínios, obtendo sustento da Santa Sé em troca de reconhecimento e obediência.

A sólida expansão da Igreja no Brasil foi proporcionada pelo regime de Padroado que garantia, entre outros:

- sua ligação aos aspectos político-administrativos do Estado;
- ser a única religião permitida no país;
- o controle dos registros civis, fonte documental dos censos populacionais realizados. Com essas informações, a Igreja planejou a instalação das paróquias. O Estado replicava os territórios das jurisdições das paróquias em suas divisões político-administrativas.

Em 1534, coincidindo com a instituição de um governo para o Brasil, foi criada a diocese de Salvador. A cidade do Rio de Janeiro foi fundada em 1565, pertencendo à jurisdição do Bispo da Bahia. Em 1575 foi criada a Prelazia de São Sebastião, sediada no Rio de Janeiro e limitada entre a Capitania de Porto Seguro e o Rio da Prata. Em 1676, a Prelazia de São Sebastião foi elevada à categoria de Diocese do Rio de Janeiro, sufragânea da Sé Metropolitana de São Salvador da Bahia.

Pouco após a instituição de um governo no Brasil, chegaram diversas ordens religiosas católicas, como os jesuítas (1549), os carmelitas (1580), os beneditinos (1581), os franciscanos (1584), os oratorianos (1611) os mercedários (1640) e, os capuchinhos (1642).

Após a abertura dos portos, Dom João VI relaxou a proibição do culto de outras religiões. Chegaram na época os primeiros protestantes, sendo fundada, em 1811, a primeira Igreja Anglicana no Brasil.

A Proclamação da República, em 1889, implicou em várias transformações nas relações entre a Igreja Católica e o Estado. A República extinguiu o sistema de Padroado, instituindo o Estado laico e a garantia de liberdade religiosa para todos os cultos. A Igreja também perdeu o controle dos registros civis, dados fundamentais para o conhecimento da população e planejamento das paróquias.

Em 1892, para se adaptar à nova realidade, o Papa Leão XIII determinou uma reestruturação da hierarquia eclesiástica no Brasil. O arcebispado de Salvador foi dividido em duas Províncias Eclesiásticas. Uma em Salvador e outra no Rio de Janeiro, que foi elevado de Bispado à categoria de Sé Metropolitana do Rio de Janeiro.

A perda da tutela do Estado e o regime de pluralismo religioso ensejaram várias transformações na Igreja Católica Brasileira, favorecendo uma dinâmica de interação com a vida social e política do país.

Na década de 1930, a Igreja se aproxima do governo Getúlio Vargas e inicia um processo de abertura para as camadas mais populares. A preocupação da Igreja com as questões sociais foi reforçada com a criação da Conferência Nacional dos Bispos do Brasil (CNBB), em 1952. As reformas de base propostas

por João Goulart dividiram os setores conservadores e progressistas da Igreja. A repressão do período ditatorial afastou a Igreja do Estado. Ganhou espaço a Teoria da Libertação com atuação das comunidades eclesiais de base voltadas para os pobres. As violações da ordem jurídica e dos direitos humanos ocorridas no período da ditadura engajaram a Igreja na luta pela redemocratização. Na década de 1980, a politização da Teologia da Libertação foi duramente criticada pelo Vaticano, ganhando importância a Renovação Carismática Católica.

Segundo Guerra (2003): *A Renovação Carismática Católica se constituiu como uma possibilidade concreta de que a Igreja atuasse em duas direções simultâneas: uma referida ao espaço externo à Igreja, visando restringir a ação expansionista dos pentecostais; outra, ao espaço intraeclesial, limitando o espaço dos setores progressistas católicos.*

2.2 Organograma da Igreja Católica

A Igreja Católica Apostólica Romana, subordinada ao Vaticano, é composta de várias subdivisões confiadas a Arcebispos, que coordenam ações doutrinárias e administrativas. A Figura 2 apresenta o organograma de Igreja Católica no Brasil.

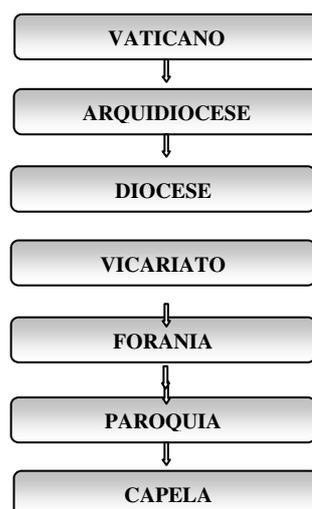


Figura 2 – Organograma da Igreja Católica

ARQUIDIOCESE – É a província eclesiástica que abrange todas as dioceses de uma região. Quem a governa e a preside é o bispo mais importante, chamado de Arcebispo, que reporta diretamente ao Vaticano. Cada arquidiocese possui uma “Catedral”, onde se encontra a “cátedra” (cadeira do Arcebispo).

DIOCESE – É a circunscrição eclesiástica dirigida pelo bispo. Ela é também chamada de Bispado. Os bispos, ou sufragâneos, são sucessores dos Apóstolos como pastores da Igreja, mensageiros do Evangelho de Cristo.

VICARIATO – Cada vicariato é subordinado a sua diocese. Vicariato é uma forma encontrada para facilitar a administração paroquial e sua criação é uma decisão bispal. Os Vicariatos episcopais colaboram na ação evangelizadora em cada grande área geográfica, organizando o trabalho e as relações pastorais. Os Vicariatos territoriais abrangem territórios sub-divididos em áreas pastorais menores chamadas foranias.

FORANIA – É um grupo determinado de paróquias dentro de um Vicariato. Cada forania é confiada a um vigário forâneo. Essa união de diversas paróquias mais próximas territorialmente favorece o trabalho pastoral mediante uma ação em comum. O vigário forâneo é eleito por dois anos pelos representantes das paróquias de sua forania.

PARÓQUIA – É uma comunidade dentro da Diocese entregue aos cuidados pastorais e administrativos de um presbítero chamado pároco. Uma paróquia tem sempre um território e uma igreja principal, chamada igreja paroquial, podendo conter outras igrejas menores, capelas ou salas de oração.

CAPELA – Antigamente chamada de “ermida”, é um pequeno templo, localizado numa comunidade, administrado por uma Paróquia.

2.3

A Questão Territorial

Segundo o historiador Friedrich Ratzel, apud Martins (1993), o território pode ser definido como qualquer espaço geográfico delimitado segundo relações de poder exercido por um estado, comunidade ou organização.

Desde a Idade Média, além de manter a função religiosa, a Igreja Católica estabeleceu-se como uma unidade político-administrativa e econômica. Segundo Rosendahl (1999), a Igreja era a grande senhora feudal, criando territórios, dominando as terras e controlando as pessoas pela fé religiosa.

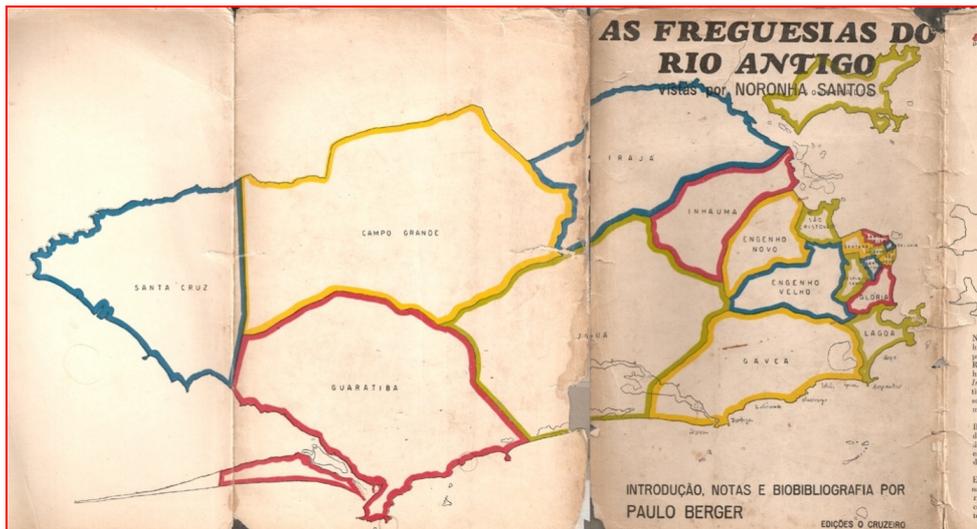
Bonjardim et al. (2013) afirmam que o processo de ocupação do Brasil foi realizado cumprindo ao mesmo tempo leis e regras do rei de Portugal e da Igreja Católica. Por isso, o poder do Estado foi construído juntamente com o poder de ‘Deus’, representado pelos padres, bispos e missionários de distintas ordens. Nas partes altas das cidades e povoados estavam localizados os poderes da Igreja, do Estado e a residência dos mais abastados. Na parte baixa, localizava-se a moradia dos menos afortunados e o comércio. Como não existia apenas uma ordem de missionários, as cidades ficavam repletas de igrejas, pois cada ordem construía a sua.

Desta forma, a Igreja estabeleceu-se prioritariamente nas áreas centrais das cidades, deixando para segundo plano as áreas periféricas.

Na Introdução do livro “As Freguesias do Rio Antigo” de Noronha Santos (1965), segundo Paulo Berger, consta: *“A cidade do Rio de Janeiro, nos seus primórdios, era dividida sob um aspecto eclesiástico em diversas freguesias ou paróquias, as quais limitavam os territórios de jurisdição religiosa, em princípio. Depois essas mesmas freguesias passaram a abranger os territórios de jurisdição administrativa”*.

Em 1539 foi criada a primeira freguesia, denominada Freguesia de São Sebastião. Outras freguesias foram criadas, acompanhando o aumento populacional e a expansão do território. No final da monarquia a Província do Rio de Janeiro contava com 21 Freguesias.

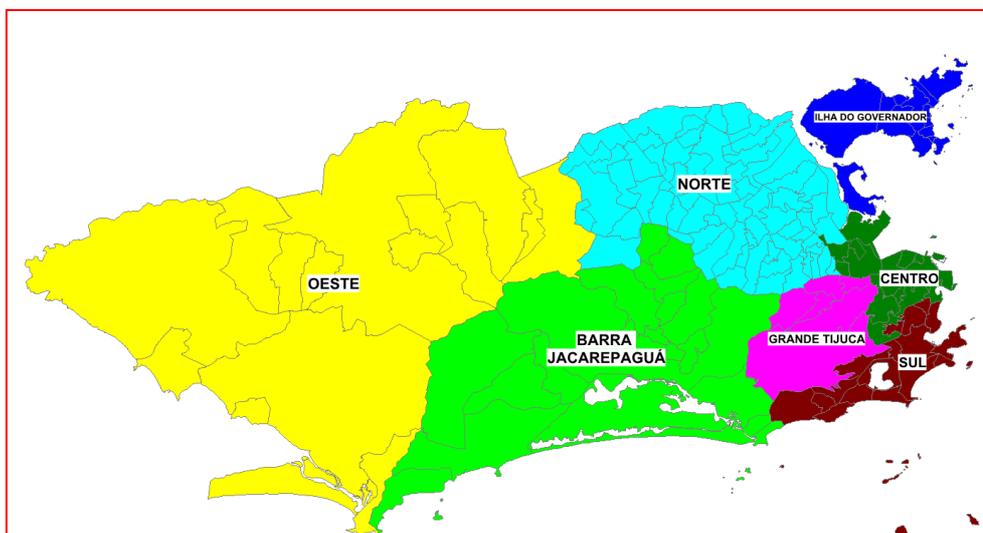
O Mapa 1 apresenta as Freguesias desta época na região onde se encontra atualmente o município do Rio de Janeiro.



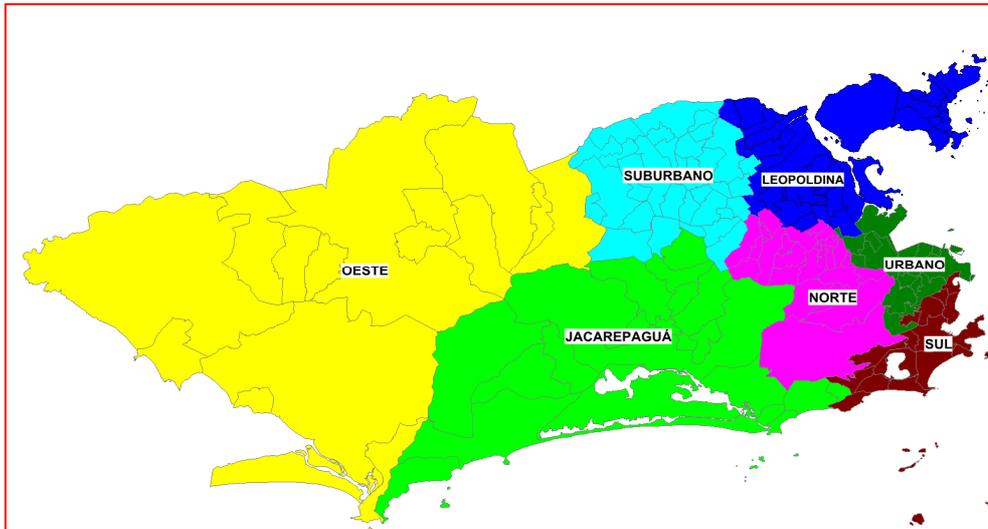
Mapa 1 – Freguesias do Município do Rio de Janeiro.
Fonte: Noronha Santos (1965)

Conforme já mencionado, as Freguesias eram divisões territoriais comuns da Administração Pública e da Igreja Católica. No correr da história, com a separação dos poderes, a administração municipal desmembrou as freguesias em áreas de planejamento, subprefeituras, regiões administrativas e bairros. Por sua vez, a Igreja do Rio de Janeiro multiplicou as freguesias (paróquias), criando instâncias administrativas superiores de Vicariatos e Foranias, subordinadas à Arquidiocese.

Nos Mapas 2 e 3 verifica-se que, mesmo após mais de 130 anos de separação institucional, as estruturas territoriais do município do Rio de Janeiro e da Igreja Católica permanecem bastante semelhantes.



Mapa 2 – Sub-Prefeituras do Município do Rio de Janeiro, 2013.



Mapa 3 – Vicariatos do Município do Rio de Janeiro, 2013

2.4 A Igreja Católica no Rio de Janeiro

A seguir serão apresentados dados do Censo do IBGE- 2010, que ilustram a participação da Igreja Católica no Brasil e no Rio de Janeiro.

O percentual de católicos vem decrescendo nas últimas décadas. Mesmo assim o catolicismo ainda é a religião majoritária, com 64,4% da população brasileira. A distribuição é bastante heterogênea no país. Enquanto o Piauí é a unidade da federação com maior incidência de católicos (85%), a participação cai para 46% no Estado do Rio de Janeiro.

Os estudos religiosos parecem corretos quando afirmam que a Igreja Católica vem perdendo espaço para as Igrejas Evangélicas e Pentecostais. Entretanto, é bom lembrar que as Igrejas Evangélicas e Pentecostais são agrupamentos de diversas religiões que, se tratadas individualmente, representam pequenas frações da população.

A Tabela 2 apresenta participação dos principais cultos religiosos existentes no Estado do Rio de Janeiro.

Tabela 2 - Participação Religiosa no Estado do Rio de Janeiro.

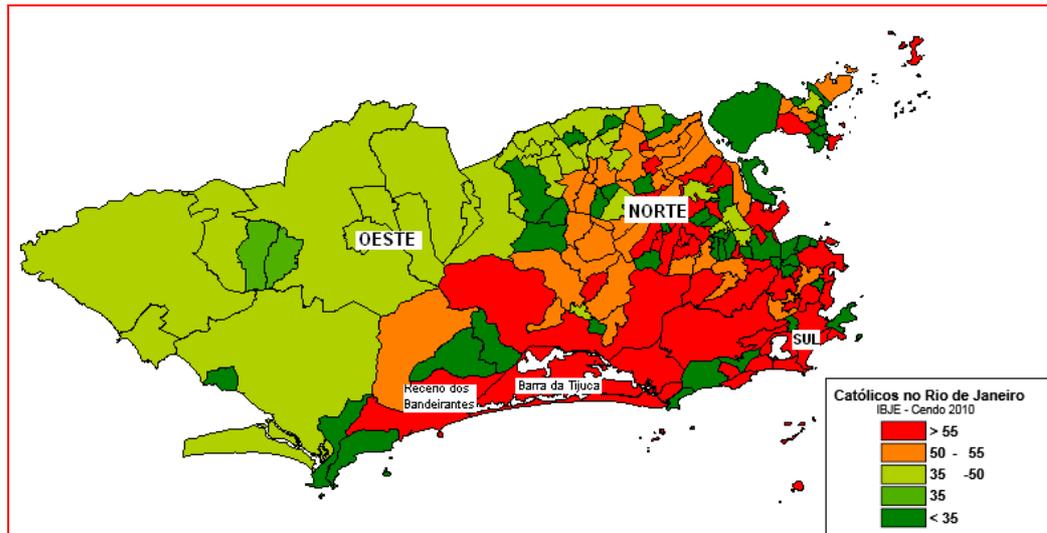
Religião	Índice
CATÓLICA APOSTÓLICA ROMANA	46,0 %
SEM RELIGIAO	15,7 %
IGREJA ASSEMBLÉIA DE DEUS	8,9 %
OUTRAS IGREJAS EVANGÉLICAS	8,0 %
ESPIRITA	4,1 %
IGREJA EVANGÉLICA BATISTA	3,6 %
OUTRAS RELIGIOSIDADES CRISTÃS	1,8 %
IGREJA UNIVERSAL DO REINO DE DEUS	1,7 %
IGREJA EVANGÉLICA METODISTA	0,9 %
TESTEMUNHAS DE JEOVÁ	0,8 %
UMBANDA	0,6 %
IGREJA EVANGÉLICA PRESBITERIANA	0,5 %
IGREJA EVANGÉLICA ADVENTISTA	0,4 %
IGREJA NOVA VIDA	0,4 %
CATÓLICA APOSTÓLICA BRASILEIRA	0,4 %
CANDOMBLÉ	0,3 %
IGREJA MARANATA	0,3 %
IGREJA CONGREGAÇÃO CRISTÃ DO BRASIL	0,2 %
IGREJA EVANGELHO QUADRANGULAR	0,2 %
IGREJA DEUS É AMOR	0,2 %
COMUNIDADE EVANGÉLICA	0,2 %
JUDAÍSMO	0,2 %
BUDISMO	0,2 %
RELIGIÕES ORIENTAIS	0,2 %
IGREJA EVANGÉLICA CONGREGACIONAL	0,2 %
IGREJA EVANGÉLICA LUTERANA	0,1 %
IGREJA O BRASIL PARA CRISTO	0,1 %
IGREJA CASA DA BENÇÃO	0,1 %
IG. DE JESUS CRISTO DOS SANTOS DOS ÚLTIMOS DIAS	0,1 %
ESPIRITUALISTA	0,1 %
IGREJA MESSIÂNICA MUNDIAL	0,1 %
TRADIÇÕES ESOTÉRICAS	0,1 %
CATÓLICA ORTODOXA	0,1 %

Fonte: Censo IBGE 2010

Nessa Tabela constata-se que as principais religiões com redes de templos são: a católica, 46,0%, seguida pela Assembleia de Deus, com 8,9 %, da Batista, 3,6% e da Igreja Universal, com 1,7% da população do estado. Ressalta-se ainda a quantidade dos sem religião, 15,7%, outras igrejas evangélicas, 8,0%, dos espíritas, 4,1%, outras religiosidades cristãs, 1,8%. O restante não atinge, individualmente, 1 % da população.

Na cidade do Rio de Janeiro, a população de católicos é de 51%, ou seja, um valor superior à média de 46% de todo o Estado.

O Mapa 4 e a Tabela 3 indicam que a distribuição espacial da religiosidade no município do Rio de Janeiro segue os mesmos padrões de ocupação da Igreja verificados no período colonial. O catolicismo é forte nos bairros da Zona Sul e região do Centro e vai perdendo participação nos bairros periféricos, na direção da Baixada Fluminense. A Tabela 3 lista os bairros ordenados segundo a incidência de católicos.



Mapa 4 - Participação dos católicos na cidade do Rio de Janeiro.
Fonte : Censo IBGE 2010.

Tabela 3 - Religiosidade nos Bairros da cidade do Rio de Janeiro.

BAIRRO	Católica	Protestante	Pentecostal	Espírita	Ateus	Outras
Leblon	68,7	0,5	4,7	6,9	10,9	8,3
Caju	67,3	1,6	16,4	4,4	8,2	2,1
Lagoa	67,1	2,3	3,0	7,4	13,5	6,7
Ipanema	66,7	1,9	5,4	5,1	13,5	7,4
Barra da Tijuca	65,9	2,2	7,3	9,7	9,8	5,1
Centro	64,8	1,7	12,2	8,8	9,9	2,6
Vasco da Gama	64,6	2,5	14,7	6,2	9,2	2,8
Itanhangá	64,1	2,4	17,0	3,1	10,7	2,7
Paquetá	63,8	3,4	15,2	5,7	10,9	1,0
Copacabana	63,7	1,7	7,6	9,1	11,8	6,1
Cachambi	63,2	2,2	12,0	13,2	6,4	3,0
Vidigal	62,7	1,1	11,1	3,3	14,0	7,8
Flamengo	62,0	1,5	7,6	9,7	14,9	4,3
Alto da Boa Vista	61,9	5,4	16,4	6,2	6,6	3,5
Tijuca	61,8	3,1	9,7	11,6	10,2	3,6
Cosme Velho	61,7	2,9	4,5	7,8	19,3	3,8
Eng. Dentro	61,5	1,5	14,9	10,4	9,1	2,6
Botafogo	61,4	1,9	5,7	8,5	17,2	5,3
Jardim Botânico	60,3	2,4	6,8	7,9	17,5	5,1
Ramos	60,2	2,4	15,4	7,8	12,1	2,1
Todos os Santos	60,1	2,4	9,9	14,0	9,8	3,8
Rocinha	60,0	1,3	16,7	3,6	15,5	2,9

BAIRRO	Católica	Protestante	Pentecostal	Espírita	Ateus	Outras
S. F. Xavier	59,7	1,4	15,5	9,6	10,1	3,7
Pilares	59,2	1,8	18,9	8,9	8,3	2,9
Ribeira	59,2	3,1	16,7	8,0	10,7	2,3
Glória	59,2	2,3	10,0	10,6	13,7	4,2
Olaria	59,2	2,7	17,4	7,7	9,6	3,4
Vista Alegre	59,1	1,5	16,3	10,3	11,2	1,6
Laranjeiras	58,8	4,3	3,9	12,6	15,6	4,8
Vila da Penha	58,1	3,6	15,7	12,4	7,2	3,0
Jardim Guanabara	58,1	6,4	9,5	10,2	12,3	3,5
Leme	57,9	3,1	10,7	8,3	14,6	5,4
Pechincha	57,7	2,2	13,7	16,3	8,8	1,3
Maracanã	57,7	3,9	9,2	14,3	12,0	2,9
Recreio Bandeirantes	57,7	3,2	16,6	9,8	9,2	3,5
Encantado	57,6	3,1	13,4	12,3	11,1	2,5
Jacarepaguá	57,6	2,5	21,1	4,8	11,4	2,6
Catumbi	57,5	0,9	14,0	10,8	14,1	2,7
Cavalcanti	57,1	6,5	18,7	7,2	9,0	1,5
Piedade	57,0	2,8	18,8	10,7	8,7	2,0
Rio Comprido	56,7	2,7	19,2	8,4	9,8	3,2
Higienópolis	56,6	2,8	17,2	9,3	10,4	3,7
Méier	56,6	2,7	10,0	18,4	10,1	2,2
Grajaú	56,3	1,5	9,4	15,6	13,3	3,9
Penha Circular	55,9	3,0	17,5	6,9	11,9	4,8
Inhaúma	55,8	3,6	25,1	5,2	6,9	3,4
Tomás Coelho	55,6	2,9	20,2	8,8	8,7	3,8
Vila Kosmos	55,6	3,1	19,8	7,8	10,5	3,2
Freguesia (JCP)	55,4	3,1	15,3	11,7	11,4	3,1
Cascadura	55,3	2,1	21,5	7,7	12,0	1,4
Jardim América	55,1	3,3	19,3	5,7	14,3	2,3
Vargem Grande	54,8	2,2	21,1	6,7	11,9	3,3
Vila Isabel	54,8	2,1	13,2	12,4	11,9	5,6
Vila Valqueire	54,2	2,6	18,8	11,6	10,3	2,5
Maré	54,2	3,4	22,4	1,3	16,9	1,8
Andaraí	54,0	1,9	12,8	14,8	12,3	4,2
Brás de Pina	53,9	2,6	21,3	7,5	11,2	3,5
Quintino Bocaiúva	53,5	1,8	16,3	11,6	13,3	3,5
Engenho Novo	53,3	2,6	14,5	13,5	13,8	2,3
Portuguesa	53,3	2,3	21,0	7,5	12,1	3,8
Anil	53,2	5,0	16,0	8,2	14,3	3,3
Jd.Carioca	53,0	2,9	22,2	5,4	12,3	4,2

BAIRRO	Católica	Protestante	Pentecostal	Espírita	Ateus	Outras
Lins Vasconcelos	52,7	2,5	14,7	11,2	17,4	1,5
Vaz Lobo	52,6	6,1	21,2	10,0	8,9	1,2
Bento Ribeiro	52,6	2,8	21,4	11,6	8,3	3,3
Cordovil	52,6	3,2	23,0	5,7	13,8	1,7
Curicica	52,5	3,1	21,0	7,9	10,8	4,7
Taquara	52,4	4,4	21,3	9,1	9,9	2,9
Mal Hermes	52,1	3,5	20,3	8,9	11,9	3,3
Rocha Miranda	51,8	6,6	20,0	9,6	9,3	2,7
Irajá	51,8	3,6	18,8	10,4	12,1	3,3
Santa Teresa	51,7	1,8	16,0	5,9	18,5	6,1
Praça Seca	51,1	2,8	21,3	12,7	9,4	2,7
Honório Gurgel	50,9	3,5	22,2	6,4	14,6	2,4
Penha	50,7	2,7	20,8	7,0	16,7	2,1
Campinho	50,3	5,3	19,9	11,8	10,4	2,3
Freguesia (Ilha)	50,2	4,4	20,9	7,0	14,8	2,7
Engenho da Rainha	49,9	5,4	24,6	8,7	8,7	2,7
Tanque	49,9	1,3	22,4	9,9	13,6	2,9
Manguinhos	48,6	1,8	25,5	3,3	19,4	1,4
Tauá	48,5	3,6	22,2	5,7	17,1	2,9
Cidade de Deus	48,2	3,2	22,2	3,3	21,4	1,7
Vigário Geral	48,1	3,3	25,7	2,7	18,9	1,3
Guaratiba	47,2	5,2	25,8	3,3	16,1	2,4
Madureira	47,1	3,3	19,2	13,0	14,7	2,7
Padre Miguel	46,7	5,3	26,9	6,6	12,6	1,9
Magalhães Bastos	46,5	4,6	28,4	5,9	11,4	3,2
Realengo	46,5	5,9	23,7	6,5	14,9	2,5
Deodoro	46,1	4,1	26,6	9,3	11,3	2,6
Guadalupe	44,8	3,5	28,4	6,1	12,6	4,6
R. Albuquerque	44,7	3,9	25,6	6,8	16,4	2,6
Coelho Neto	44,5	10,1	21,6	7,0	9,9	6,9
Parque Anchieta	44,2	5,1	33,9	3,3	10,8	2,7
Benfica	44,0	2,3	27,1	4,7	18,8	3,1
Alemão	43,7	3,2	28,2	1,2	22,1	1,6
Bangu	42,9	5,5	26,4	5,1	16,4	3,7
Pavuna	42,3	6,0	28,0	4,7	16,3	2,7
Colégio	42,1	5,3	28,4	5,4	15,7	3,1
Barros Filho	41,9	4,0	28,4	3,8	19,5	2,4
Campo Grande	41,9	7,3	29,4	4,8	13,6	3,0
Anchieta	41,5	6,6	29,1	6,4	14,4	2,0
Santíssimo	40,6	6,2	26,7	4,5	20,1	1,9

BAIRRO	Católica	Protestante	Pentecostal	Espírita	Ateus	Outras
Jacarezinho	40,4	5,0	22,2	2,9	28,1	1,4
Sepetiba	38,4	1,7	30,5	6,7	18,3	4,4
Senador Camará	37,2	6,0	31,4	3,9	18,9	2,6
Sen.Vasconcelos	37,1	11,4	28,2	3,6	16,5	3,2
Paciência	36,7	4,8	33,2	3,8	19,1	2,4
Acari	36,6	5,7	28,9	1,3	24,9	2,6
Santa Cruz	35,9	5,4	34,3	3,2	18,2	3,0
Cosmos	35,4	7,0	34,2	2,8	17,1	3,5
Inhoaíba	34,8	5,5	33,3	2,6	18,8	5,0

Fonte: Censo IBGE 2010.

Conforme a Tabela 3, o bairro da Barra da Tijuca é o 5º bairro da cidade com maior predominância católica, enquanto o Recreio dos Bandeirantes encontra-se na 35ª posição.

2.5 Problemática

Nos parágrafos deste item serão apresentados alguns comentários que ilustram facetas da situação atual da Igreja Católica que se inserem no contexto da dissertação.

Numa entrevista quando da JMS 2013, no Rio de Janeiro, o Papa Francisco comentou o problema da perda de fieis:

“Não saberia explicar esse fenômeno. Vou levantar uma hipótese. Para mim é fundamental a proximidade da Igreja, porque a Igreja é mãe, e nem você nem eu conhecemos uma mãe por correspondência. A mãe dá carinho, toca, beija, ama. Quando a Igreja, ocupada com mil coisas, se descuida dessa proximidade, se descuida disso e só se comunica com documentos, é como uma mãe que se comunica com seu filho por carta. Não sei se foi isso o que aconteceu no Brasil. Não sei, mas sei que em alguns lugares da Argentina que conheço isso aconteceu.”

No livro *Religião e Território: 1991/2010*, Jacob et al. (2013) apresentam várias tabulações comparando a evolução dos diversos cultos no país e afirmam que:

“A Igreja Católica, apesar de ser a maior expressão religiosa do Brasil, continua a perder fieis, porém num ritmo menor do que no período correspondente a 1991-2000, assim como algumas Igrejas Pentecostais como a Congregação Cristã do Brasil e Igreja Universal do Reino de Deus, que perderam adeptos no período de 2000-2010. Embora seja difícil detectar os chamados evangélicos não determinados, os autores mostram, a partir do Censo, que eles continuam crescendo, sobretudo nas periferias e nas Regiões Norte (do Brasil).”

A dissertação de Campos (2011) aborda a diversidade religiosa numa ótica de mercado. Citando o livro *“Religião e Sociedades em Capitais Brasileiras”*, do professor Cesar Romero, ela conclui que a perda de espaço da Igreja Católica para as Igrejas Evangélicas decorre de uma menor agilidade na ocupação dos espaços, citando várias causas como:

- a estrutura burocrática centralizada em Roma que dificulta a compreensão da realidade localmente. A estrutura descentralizada das Igrejas Evangélicas permite um processo decisório mais conectado aos fieis;
- dificuldade de expansão do contingente de sacerdotes pelas exigências de formação, enquanto as Igrejas pentecostais não exigem qualificação formal dos pastores;
- alto custo de construção de uma paróquia em relação ao custo para criação de um templo evangélico.

Guerra (2003), apud Campos (2011), comenta que:

“O crescimento dos evangélicos e perda de fieis levou a Igreja a adotar novas formas de ação, com a adoção de modelos de gestão

de cunho empresarial, a centralização da gestão administrativa e financeira, a concentração do poder eclesiástico, a profissionalização dos quadros ministeriais, o uso de estratégias de marketing e a fixação de metas de produtividade para pastores e bispos”.

Silvio Gil Filho (2003) afirma que a estrutura territorial da Igreja Católica sempre foi moldada segundo as relações de poder internas da instituição e as características locais específicas. Desta forma, a paróquia continua a ser a base de sustentação territorial da Igreja, pois é lá onde ocorre a real interação entre os fieis e o clero.

As citações apresentadas acima permitem concluir que o objeto de estudo da dissertação seja empregado como uma ferramenta adicional para mitigar problemas hoje enfrentados pela Igreja.

Na medida em que o estudo aplica um método de otimização para localizar paróquias e seus respectivos territórios, aumenta a proximidade dos fieis, otimiza a ocupação dos espaços e introduz procedimentos de avaliação e simulação sistematizadas, seguindo as estratégias de ação mencionadas por Guerra.

3 Problemas de Localização

3.1 Definição

A definição usual de um problema de localização de uma instalação ou posto de serviço consiste em selecionar uma posição geográfica para sua operação tal que seja maximizada uma medida de utilidade, satisfazendo diversas restrições, em particular as restrições de demanda. No caso de uma rede de instalações, o problema consiste em fazer a escolha do posicionamento de tais instalações de modo que seja minimizado o custo, desconforto ou inconveniência coletiva, ou seja, minimizado somatório ponderado de menores distâncias entre os demandantes do serviço e a instalação mais próxima. As aplicações mais frequentes dos problemas de localização referem-se à localização de escolas e de serviços de saúde, mas outros tipos de problemas têm sido igualmente estudados, como o caso de centros de distribuição, *shopping centers*, áreas de lazer etc.

Com respeito à localização de escolas públicas, um estudo célebre e precursor foi publicado por Tewari e Jena (1987). Usando os recursos disponíveis naquela época, esses autores examinaram um amplo distrito geográfico na Índia, com duas cidades, centenas de vilarejos, mais de 1,5 milhões de habitantes e propuseram a localização de escolas secundárias levando em conta, além da distância máxima de 8 km para o estudante alcançar uma escola, outros aspectos menos comuns, como a língua falada em cada escola. Esse trabalho foi seguido por muitos outros aplicados a outros contextos e países, dentre os quais Viegas (1987), Molinero (1988), Beguin et al. (1989), Tewari (1992), Antunes (1994), Pizzolato e Silva (1997), Teixeira e Antunes (2008), entre outros.

Em estudo mais recente, White et al. (2011) revisam o uso de técnicas de otimização na localização de facilidades, com ênfase em estudos relacionados com a educação e a saúde; Rahman e Smith (2000) revisam estudos locais nos países hoje denominados de países emergentes; Galvão et al. (2002) aplicam técnicas para otimizar maternidades e unidades perinatais no Rio de Janeiro; Pizzolato et al. (2004) consideram a localização de escolas públicas em áreas urbanas; Yasenovskiy and Hogdon (2007) aplicam estudos de localização para

prevenção da saúde em áreas rurais de Suhum, Ghana; assim como Smith et al. (2009) tratam de problemas similares em áreas rurais da Índia.

Em estudo de caso aplicado à cidade de São Carlos/SP, Lima (2003) desenvolveu uma ferramenta de análise espacial para o apoio da tomada de decisão dos gestores públicos no planejamento dos serviços ligados à educação e saúde. O estudo buscou reduzir os custos de deslocamento (distâncias) dos usuários às unidades de atendimento, como creches, escolas e postos de saúde. Nos vários níveis de educação, foi possível avaliar a distribuição real dos alunos por meio do endereço da residência de cada um, tanto nas creches (0 a 3 anos) como nos EMEI -Escola Municipal de Educação Infantil (4 a 6 anos) em que estudam. Os endereços de cada aluno e escola foram georeferenciados no mapa digital do sistema viário da cidade no Sistema de Apoio à Decisão Espacial - SADE. O estudo considerou apenas os alunos matriculados, ou a demanda reprimida pelo ensino público. Para gerar os cenários de locação/alocação separadamente para creches e EMEIs, foi utilizado um modelo com restrição de capacidade e outro que não inclui restrição, de tal modo a minimizar os custos de deslocamentos médios e máximos, em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica - SIG. Com isso, foram simulados cenários tanto de alocação dos alunos como de localização de novas instalações.

No município de Canoas (RS), Oliveira e Bastos (2007), com o auxílio do software ArcGis 9.1, diagnosticaram a falta de infraestrutura educacional no bairro Harmonia, escolhido para análise por conta de sua diversidade socioeconômica, sendo observado que a distribuição dos equipamentos educacionais na área é desigual. Na periferia do bairro constatou-se que a merenda recebida na escola é um fator motivador para os pais matricularem seus filhos em determinadas escolas.

Uma medida de acessibilidade através da distância máxima e ideal aluno-escola foi proposta em Bráu et al. (1980) e, segundo Oliveira e Bastos (2007), mostrou-se eficaz e condizente com a realidade urbana. Para o Ensino Infantil e Fundamental considerou-se uma distância de 500 metros entre casa e escola como de acessibilidade excelente; entre 500 e 1.000 metros, acessibilidade ótima; entre 1.000 e 1.500 metros, regular; entre 1.500 a 2.000 metros, acessibilidade baixa; e distâncias acima deste valor foram classificadas como acessibilidade péssima. De uma maneira geral, a avaliação da literatura aponta dois fatores: em áreas urbanas,

a distância de acessibilidade aumenta à medida em que a idade dos educandos aumenta; enquanto que nas áreas rurais as distâncias limites aumentam sensivelmente. No caso brasileiro, afastamentos análogos têm sido propostos, tal como em CEBRACE (1981), onde se recomenda uma distância urbana máxima de 1.500m e de 3.000m em áreas rurais.

No domínio da saúde, Santos *et al.* (2000) realizaram um estudo de avaliação da localização dos postos de saúde em São Carlos/SP e a alocação ótima de pacientes nos postos, e propuseram a localização de novos postos, de modo que os custos de deslocamentos envolvidos fossem mínimos. O trabalho contou com o apoio do *software* Transcad para determinar espacialmente a localização dos postos de saúde e dos usuários nas áreas urbanas.

Ampliando a variedade de aplicações, Rozental e Pizzolato (2009 e 2012) estudam a localização de *shopping centers* de vizinhança na Barra da Tijuca e Brondani *et al.* (2013) estudam a alocação de unidades de lazer no subúrbio do Rio de Janeiro.

Com relação aos serviços a serem prestados, tem-se que nos serviços ordinários a preocupação maior dá-se com a *distância média usuário-instalação*, sendo desejável a minimização das distâncias, pois tais distâncias devem ser percorridas seguidamente. Tem-se como serviços ordinários as escolas, correios, parques, limpeza urbana, serviços d'água, gás e esgoto, além de acesso a shopping centers de vizinhança, a áreas de lazer e a templos religiosos, dentre outros.

3.2 Localização no Plano

Basicamente, em problemas de localização trabalha-se em medir as menores distâncias entre os demandantes do serviço e os pontos mais próximos aonde tal serviço é oferecido. A busca pela solução ótima consiste em determinar os pontos em que as instalações devem ser localizadas de modo a reduzir o que poderia ser chamado de custo ou de desconforto coletivo. As populações estão normalmente distribuídas em um contínuo e, para facilitar o emprego de métodos analíticos, este contínuo é discretizado em pontos ou centroides, que seriam os centros geográficos dos diversos setores censitários, conforme definidos e

apurados pelo IBGE. Aliás, esse tipo de procedimento foi empregado em boa parte dos estudos descritos acima.

Portanto, o primeiro desafio consiste em definir os centroides ou vértices, identificando a demanda existente em cada um deles. A seguir, são medidas as distâncias entre todos os pares de centroides. Essa medição pode incorporar grandes desafios, pois no ambiente real encontram-se barreiras geográficas diversas. Há dois métodos alternativos para se medir distâncias. O primeiro deles vem a ser a métrica euclidiana, segundo a qual não existe qualquer empecilho no percurso, de modo que a distância mais curta entre dois pontos i e j , dados as suas coordenadas (x_i, y_i) e (x_j, y_j) será aquela medida pela linha reta, como indicado na equação (1), ou seja, conforme o teorema de Pitágoras:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1)$$

Caso típico para este problema seria a localização de instalações no mar ou em áreas desprovidas de quaisquer benfeitorias e acidentes geográficos. Alternativamente, por ser muito mais simples, esse método costuma ser usado na medida em que se deseja alguma solução simples, mas aproximada. A Seção 3.2 mostra o relacionamento empírico entre as distâncias terrestres euclidianas e as distâncias reais, mas trata-se de uma simplificação.

Outra forma de medir de distância é a métrica metropolitana, definida conforme a equação (2):

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (2)$$

A métrica metropolitana é a mais simples de ser medida, onde a distância entre dois pontos se dá pela soma dos módulos das diferenças de suas abcissas com suas ordenadas. Esta metodologia de se calcular a distância também é conhecida por métrica de Manhattan, tendo em vista o traçado planejado desta ilha nos EUA, exigindo que, para se percorrer a mesma, o usuário trafegue em zig-zag.

3.3 Localização em uma Rede

Um dos fatores condicionantes em problemas de localização é o encontro de empecilhos no percurso ou a forma com que se dá este percurso. Percursos entre origens e destinos devem integrar uma rede, que se caracteriza como um conjunto de nós ou vértices, e arcos ligando estes nós. Sendo assim, a localização em uma rede representa usualmente os problemas de localização através de um sistema de transporte em uma malha já definida, onde se tem determinadas as possibilidades de percursos.

O tráfego de veículos está diretamente ligado à existência de redes que impõem trajetos. Assim, veículos trafegariam por rodovias, trens por ferrovias, aviões por rotas aéreas etc., assim como o tráfego de pedestres em áreas urbanas também estaria condicionado a ser percorrido por uma rede viária.

Como a distância em rede pressupõe uma maior dificuldade de se determinar o espaço percorrido, alguns trabalhos foram elaborados neste sentido, tais como o de Novaes (1989), onde um estudo feito sobre distâncias em 110 ligações rodoviárias em São Paulo, chega-se aos seguintes resultados, sendo A é o ponto de origem e B o ponto do destino onde pretende-se chegar. DR_{AB} é a distância real entre os pontos A e B, enquanto que DE_{AB} é a distância euclidiana entre os mesmos pares de pontos. O estudo de Novaes chegou às equações (3) e (4):

$$DR_{AB} = 23,9 + 1,11 DE_{AB} \quad \text{se } DE_{AB} > 60 \text{ km} \quad (3)$$

$$DR_{AB} = 1,48 DE_{AB} \quad \text{se } DE_{AB} < 60 \text{ km} \quad (4)$$

Isto é, se a distância linear (métrica euclideana) entre dois pontos for maior que 60 km, a distância real seria obtida multiplicando-se a mesma por 1,11 (acrécimo de 11%) e depois somando-se 23,9 km. Do mesmo modo, se a distância for menor que 60 km, bastaria que se multiplicasse a distância linear por 1,48 (acrécimo de 48%) para se achar a distância real.

Em estudos empíricos similares, o mesmo Novaes (1989) encontrou que a distância real no município de São Paulo (área urbana) poderia ser obtida pela

multiplicação da distância linear por 1,3666, ou seja, à distância linear acrescenta-se cerca de 30% para ter uma estimativa da distância efetiva.

3.4 Método Exato e Métodos Heurísticos

3.4.1 O método exato para o problema da p -mediana

Como explicado acima, a formalização matemática por meio do modelo da p -mediana é apropriada aos problemas usuais, em que se deseja minimizar o afastamento entre o cliente e o serviço, distância esta que deve ser percorrida seguidamente, tais como a localização de escolas, postos de saúde, correios, parques, limpeza urbana, serviços de água, gás e esgoto etc. Para sua solução, os métodos baseados na Programação Linear Inteira, conforme o PPM abaixo, têm a vantagem de garantirem a solução ótima, mas à custa de algoritmos avançados, pois tais problemas apresentam em geral um espaço de busca muito grande. Os métodos heurísticos, por sua vez, baseiam-se em conceituação lógica e são de fácil implementação computacional; por outro lado, esses métodos não oferecem garantia de se obter uma solução ótima, mas uma solução de boa qualidade. No nosso entendimento, tratando-se de problemas que envolvem a sociedade e a agregação de comportamentos, a otimalidade da solução torna-se um conceito relativo, pois depende da qualidade dos dados e da conformidade de comportamentos.

Para solucionar o problema de localização onde o serviço a ser prestado se preocupa com a *distância média usuário-instalação*, procura-se minimizar um somatório de distâncias. O modelo da p -mediana pode ser formulado conforme abaixo, modelo PPM, onde as variáveis de decisão são x_{ij} que consistem na decisão de determinar se os clientes que se encontram no vértice i devem ser atendidos por uma instalação existente no vértice j (caso em que $x_{ij} = 1$) ou, não, que consiste no caso contrário (quando $x_{ij} = 0$):

$$\text{(PPM)} \quad \text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i d_{ij} x_{ij} \quad (5)$$

$$\text{sujeito a} \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1; \quad i \in N \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = p \quad (7)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj}; \quad i, j \in N \quad (8)$$

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

onde:

- $[d_{ij}]_{n \times n}$ é a matriz simétrica de distâncias, com $d_{ii} = 0, \forall i$;
- $[x_{ij}]_{n \times n}$ é a matriz de alocação, com $x_{ij} = 1$ se o vértice i está alocado ao vértice j , e $x_{ij} = 0$, no caso contrário; e, ainda, $x_{jj} = 1$ se o vértice j é uma mediana e $x_{jj} = 0$, caso contrário;
- p é o número de postos de serviço, ou medianas, a serem localizadas;
- n é o número de vértices da rede, e $N = \{1, \dots, n\}$;
- w_i representa o peso do vértice i ;

A função objetivo do PPM (equação 5) a ser minimizada é o somatório das distâncias ponderadas de cada vértice à mediana mais próxima; as restrições (6) e (8) impõem que cada vértice i seja alocado a um único vértice j , o qual deve ser uma mediana. A restrição (7) determina o exato número p de medianas a serem localizadas e a restrição (9) indica as condições de integralidade.

No estudo de caso aqui abordado, os vértices são os pontos que agregam os usuários do serviço, no caso, os fiéis. Ao usar os setores censitários fornecidos pelo IBGE, cada ponto costuma ser denominado de centroide e representa o centro de um setor censitário i , com população católica demandante do serviço religioso em número w_i ; p é o número de igrejas a serem localizadas, ou das igrejas existentes, no caso em que se deseja avaliar a atual localização espacial; e d_{ij} é a distância entre os vértices i e j , onde, por simetria, $d_{ij} = d_{ji}$.

Hakimi sugeriu ainda o método de enumeração total, que corresponde a um método exato, viável em pequenos problemas, ou seja, escolher o conjunto X_p

de $\binom{n}{p}$ maneiras e tomar a melhor solução, isto é, a solução com o menor valor da expressão de Z .

3.4.2 Métodos heurísticos para a p -mediana

Além dos métodos exatos mostrados acima, tem-se o algoritmo guloso, de absoluta simplicidade; o algoritmo de Maranzana (1964), que apresenta um algoritmo pioneiro e o método misto, a ser conceituado abaixo, que tem um sentido intermediário de buscar pequenas melhorias na solução.

O problema consiste em encontrar, para uma rede $R=(X,A)$ com $|X| = n$ vértices, um subconjunto X_p , $X_p \subset X$, com p vértices, que minimize a expressão Z . Os p vértices encontrados representam os locais onde serão colocadas os postos de serviço, ou *facilities*, de modo que a soma da demanda de todos os vértices da rede a estes p pontos seja a menor possível.

$$\text{Min } Z = \sum_{x_i \in X} w_i d(x_i, X_p) \quad (10)$$

Onde $d(x_i, X_p) = \min_{y \in X_p} d(x_i, y)$ representa a menor distância entre cada vértice x_i da rede e um dos p vértices do conjunto X_p , e w_i é o peso do vértice x_i .

Seja ainda $D = [d_{ij}]$ uma matriz simétrica ($n \times n$) que dá a distância mínima entre os vértices x_i e x_j . O centro de gravidade, ou a 1- mediana da rede R , é o vértice $r^1 \in X$ tal que, para qualquer outro vértice, $x_j \in X$:

$$\sum_{x_i \in X} w_i d(x_i, r^1) \leq \sum_{x_i \in X} w_i d(x_i, x_j) \quad (11)$$

Três algoritmos estão discutidos abaixo; I) O método Guloso, II) O Método de Maranzana e III) Método Misto.

I) O Método “Guloso”

Corresponde ao termo em inglês *greedy algorithm*. Suponha que se deseja resolver um determinado problema, localizando $p = 1$ instalações. Parece natural escolher o local que tenha o maior impacto sobre a função objetivo. Seja r^1 o ponto escolhido, satisfazendo à expressão (12)

$$w_q d(x_q, r^1) = \max_{x_i \in X} w_i d(x_i, r^1) \quad (12)$$

Se a essa solução r^1 for acrescentada uma outra instalação no vértice x_q , há pelo menos uma redução $w_q d(x_q, r^1)$ no custo total, pois este custo torna-se zero. Portanto, a melhor escolha para uma 2ª instalação seria aquela que mais reduz, de forma imediata, a função objetivo, conforme a expressão (13), ou seja:

$$w_q d(x_q, r^1) = \max_{x_i \in X} w_i d(x_i, r^1) \quad (13)$$

Assim, a solução para duas instalações formaria o conjunto $X_2 = \{r^1, x_q\}$. Para acrescentar uma terceira instalação, escolhe-se o vértice x_s , conforme a expressão (14), se:

$$w_s d(x_s, X_2) = \max_{x_i \in X} w_i d(x_i, X_2) \quad (14)$$

Assim, a solução para três instalações seria o conjunto $X_3 = \{r^1, x_q, x_s\}$ e o método continua até se alcançar p -medianas.

II) O Algoritmo da Maranzana

Passo 1. Selecionar arbitrariamente p vértices de X : r^1, \dots, r^p

Passo 2. Particionar todos os vértices $x_j \in X$ em p subconjuntos X^1, X^2, \dots, X^p de

tal modo que $r^k \in X^k$ e, se $d(x_j, r^k) = \left\{ \min_{\substack{i=1, \dots, p \\ i \neq k}} d(x_j, r^i) \mid r^i \in X^i \right\}$, $\Rightarrow: x_j \in X^k$

Passo 3. Determinar o centro de gravidade de cada conjunto X^i , denominado \bar{x}_i

Passo 4. Se $r^i = \bar{x}_i$ para todos os conjuntos X^i , pare. Os valores de r^i e as partições de X^i são as soluções procuradas. Caso contrário, faça $r^i \leftarrow \bar{x}_i$ e retorne ao Passo 2.

Cabe notar que, a cada mudança de centro de gravidade, $r^i \leftarrow \bar{x}_i$, há uma redução da solução global, porque \bar{x}_i substitui o centro de gravidade r^i do subconjunto X^i se $\sum_{x_i \in X} w_i d(x_i, \bar{x}_i) < \sum_{x_i \in X} w_i d(x_i, r^i)$. Portanto, cada retorno ao Passo 2 se faz com uma redução líquida da solução global.

III) O Algoritmo Misto

Trata-se de um esforço heurístico – aqui denominado de Método Misto – para tentar aperfeiçoar as soluções obtidas anteriormente, que foi desenvolvido pelo autor no processo de otimização das soluções encontradas. A Figura 3 ilustra a sistemática. Os exemplos a seguir exemplificam o procedimento, usando as áreas de influência de cada mediana encontrada. A ideia básica consiste em agregar subconjuntos vizinhos e fazer ali uma busca local, tentando encontrar novas configurações que reduzam o valor de Z .

Por exemplo, na Figura 3, a Região 5, em verde claro, tem uma única vizinha, qual seja, a Região 4, em cinza claro. A ideia é juntar todos os centroides dos setores (pontos em preto) das duas regiões e buscar a solução exata, mediante enumeração completa de todos os centroides tomados dois a dois.

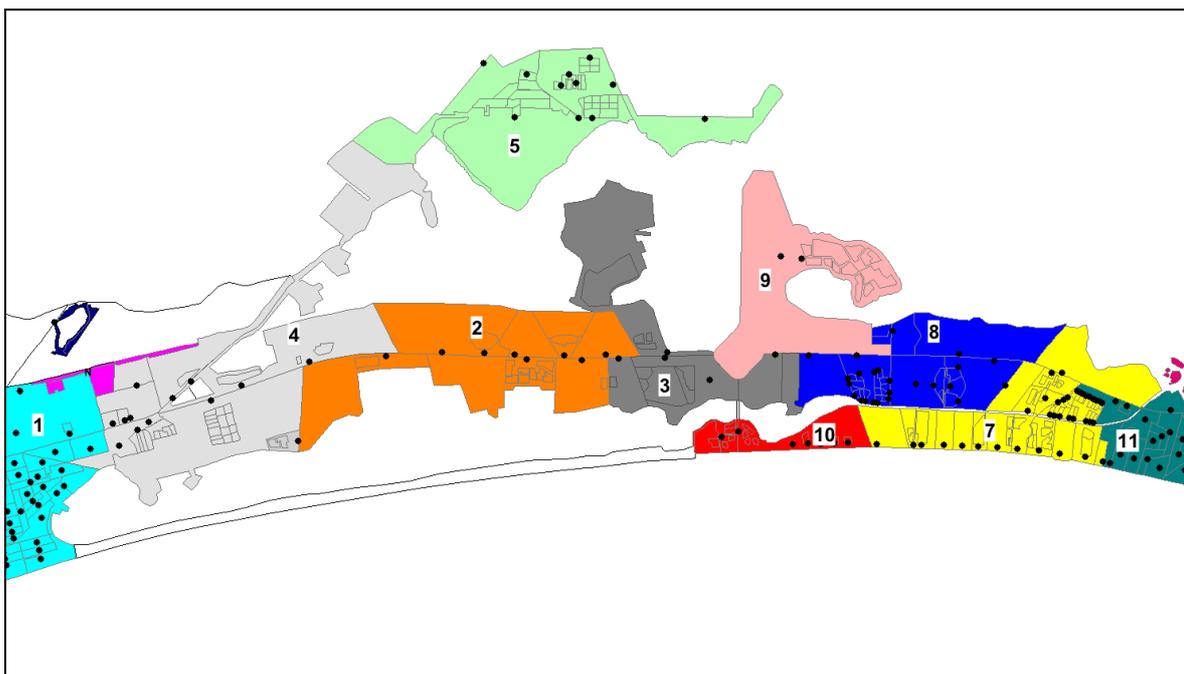


Figura 3 – Exemplo do Método Misto.

Em outro exemplo, a Região 2, em cor laranja, tem como vizinhos as regiões 3, em cinza escuro e a Região 4, em cinza claro. A ideia é juntar todos os centroides das três regiões e buscar a solução exata, mediante enumeração completa de todos os centroides tomados três a três.

Em um terceiro exemplo, a Região 7, em amarelo, tem três regiões vizinhas: a Região 8, em azul; a Região 10, em vermelho; e a Região 11 em verde escuro. A ideia é juntar todos os centroides das quatro regiões e buscar a solução exata, mediante enumeração completa de todos os centroides tomados quatro a quatro.

Cabe notar que as vizinhanças podem ser definidas por visualização, como exemplificado acima, ao olhar a Figura 3, mas também podem ser definidas por atributos geográficos de vizinhança entre os setores. Essa metodologia heurística foi aplicada nas regiões vizinhas a cada uma das treze medianas encontradas.

Cabe notar ainda que, toda vez que as medianas mudarem de posição, ou seja, toda vez que as regiões de abrangência de cada mediana sofrerem alterações, o processo deve ser repetido. O método termina quando as regiões de abrangência se mantiverem estáveis.

O método é similar ao apresentado por Pizzolato (1994), que propõe analisar combinações das p regiões duas a duas ou três a três, de modo exaustivo. O diferencial é que, computando através do SIG uma tabela de setores vizinhos, será possível eliminar enumerações desnecessárias entre áreas não vizinhas.

4

Estudo de Localização dos Templos Católicos da Barra da Tijuca e do Recreio dos Bandeirantes

4.1

Objeto do Estudo

Para o estudo de caso foram escolhidas todas as Paróquias, Igrejas e Capelas que oferecem cultos aos domingos nos bairros da Barra da Tijuca e do Recreio dos Bandeirantes. O estudo não incluiu salas de oração em colégios e condomínios em razão de não oferecerem cultos regulares e não serem de propriedade da Igreja.

A Tabela 4 apresenta cada templo considerado no estudo, indicando sua respectiva Paróquia, Forania e, o número de cultos que oferece aos domingos.

Tabela 4 – Relação dos 16 templos católicos do estudo de caso

Templo	Paróquia	FORANIA	Cultos aos domingos
Igreja São Francisco de Paula	São Francisco de Paula	1a	4
Igreja Santa Terezinha	São Francisco de Paula	1a	1
Capela São Pedro	São Francisco de Paula	1a	1
Igreja Nossa Senhora da Vitória	Nossa Senhora da Vitória	1a	2
Capela Santa Rosa de Lima	Nossa Senhora da Vitória	1a	3
Capela Santo Antonio	Nossa Senhora da Vitória	1a	2
Igreja Santo Agostinho	Santo Agostinho	1a	4
Igreja São Marcos	São Marcos	3a	4
Capela São José da Beira Rio	São Marcos	3a	1
Igreja São Pedro do Mar	São Pedro do Mar	3a	3
Igreja Imaculada Conceição	Imaculada Conceição	3a	5
Capela São Tarcísio	Imaculada Conceição	3a	1
Capela Santa Paulina	Imaculada Conceição	3a	1
Santuário Nossa Senhora de Fátima	-	3a	3
Igreja São Marcelino Champagnat	São Marcelino Champagnat	4a	2
Capela São José Operário	São Marcelino Champagnat	4a	3

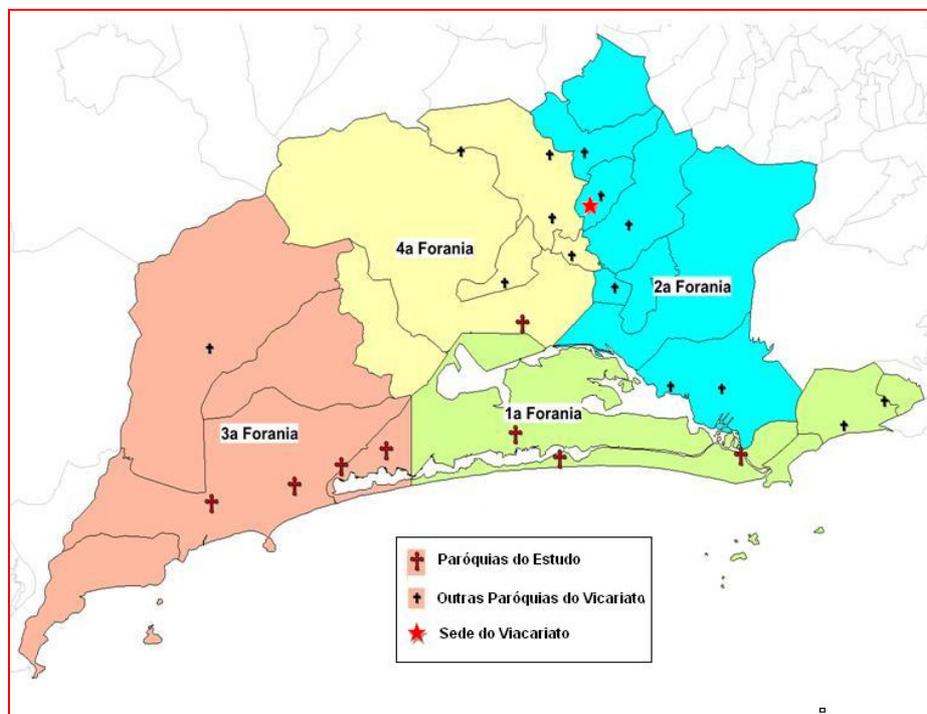
Os 16 templos do estudo, localizados na Barra da Tijuca e no Recreio dos Bandeirantes, fazem parte de três Foranias do Vicariato Jacarepaguá. São 7 igrejas

paroquiais, um santuário e 8 capelas. O Mapa 5 apresenta a localização dos templos na região.



Mapa 5 - Região de estudo com as Igrejas e Capelas.

O Vicariato Jacarepaguá, apresentado no Mapa 6, está subordinado à Arquidiocese de São Sebastião do Rio de Janeiro, sendo dividido em 4 Foranias, que abrangem 21 paróquias nos bairros da Barra da Tijuca, Recreio dos Bandeirantes, Jacarepaguá, Taquara, Vargem Grande, Vargem Pequena, Cidade de Deus, Tanque, Pechincha, Freguesia, Gardênia Azul, Itanhangá, Joá, Rocinha e São Conrado.



Mapa 6 - Foranias e Paroquias do Vicariato Jacarepaguá

4.2 A Região do Estudo

Os bairros da Barra da Tijuca e do Recreio dos Bandeirantes estão localizados na Zona Oeste do Rio de Janeiro. Fazem parte da Região Administrativa XXIV, juntamente com os bairros do Joá, Itanhangá, Camorim, Vargem Pequena, Vargem Grande e Grumari. A Região ocupa 70 km² (40% da RA), com uma população em 2010 de 218.164 habitantes (73 % da RA).

Até a elaboração do Plano Piloto de Lúcio Costa, na década de 70, a Região sofria uma ocupação caótica e desordenada. Lúcio Costa elaborou o Plano Diretor propondo uma urbanização racional e planejada da baixada compreendida entre a Barra da Tijuca, o Pontal de Sernambetiba e Jacarepaguá, rompendo com padrões de gabarito existentes, criando áreas *non aedificandi* e vias expressas,

Com a construção da Auto-Estrada Lagoa Barra na década de 80, a urbanização da Região se intensificou. O plano piloto sofreu modificações e a Região mantém um impressionante crescimento, com condomínios residenciais fechados e *shopping centers* interligados por vias expressas que privilegiam o uso do automóvel.

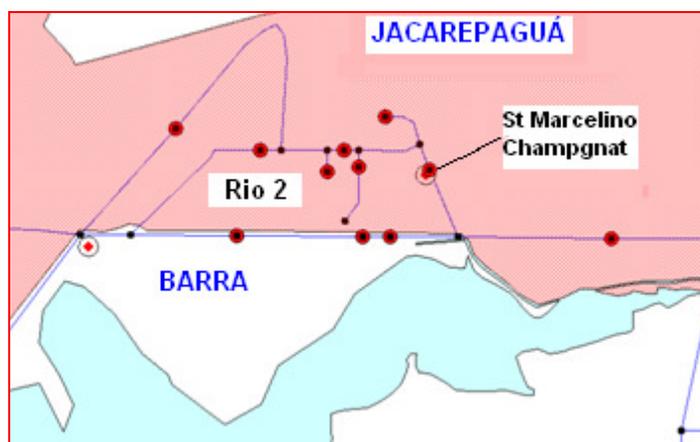
A qualidade de vida e a baixa densidade de ocupação da Barra da Tijuca e do Recreio dos Bandeirantes estão cada vez mais comprometidas pelas altas taxas de crescimento demográfico que estão entre as maiores verificadas no município do Rio de Janeiro. Esse padrão de crescimento deverá ser mantido nos próximos anos, principalmente na direção do Recreio dos Bandeirantes e da Região da Vargens, resultando em problemas cada vez mais intensos de trânsito e poluição ambiental.

4.3 Delimitação Geográfica

Estudos de localização com base na discretização do espaço em setores censitários podem sofrer distorções nas regiões fronteiriças, de acordo com Pizzolato e Silva (1993), sendo recomendado fazer avaliações específicas nas áreas em que se presume haver alguma interação com pontos além da fronteira

estudada. Assim, deve-se, sempre que possível, considerar setores censitários vizinhos que, embora estejam em municípios ou bairros próximos, possam influenciar o tipo de instalação que está sendo estudado.

No caso da Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes, essa delimitação parece bastante natural por razões geográficas, pois esses bairros são fortemente isolados, tendo fronteiras com o Oceano Atlântico, com a Floresta da Tijuca e com a Reserva Ambiental, que são áreas desabitadas. Recentemente, com a expansão demográfica que sucedeu aos Jogos Panamericanos, a Barra se aproximou de Jacarepaguá. No caso das igrejas, essa situação de interferência com regiões vizinhas ocorre unicamente com relação à paróquia de São Marcelino Champagnat, fronteira ao Bairro de Jacarepaguá, na Região conhecida como Rio 2 (Mapa 7), que sofre atualmente um crescimento explosivo. Dessa forma, a Região de estudo foi acrescida de três setores censitários de Jacarepaguá, como forma de melhor retratar o território da paróquia fronteira ao Bairro vizinho. Em particular, os moradores da região declaram ser moradores da Barra da Tijuca, não se considerando moradores de Jacarepaguá.



Mapa 7 – Região do Rio2, violando os limites da Barra da Tijuca.

4.4 Levantamento dos Dados

Para o estudo foram realizados os seguintes levantamentos:

- i) dados dos templos católicos, levantados em listagens existentes e visitas a todas as igrejas e várias capelas da área de estudo. Foram realizados questionários e entrevistas informais com seus administradores;

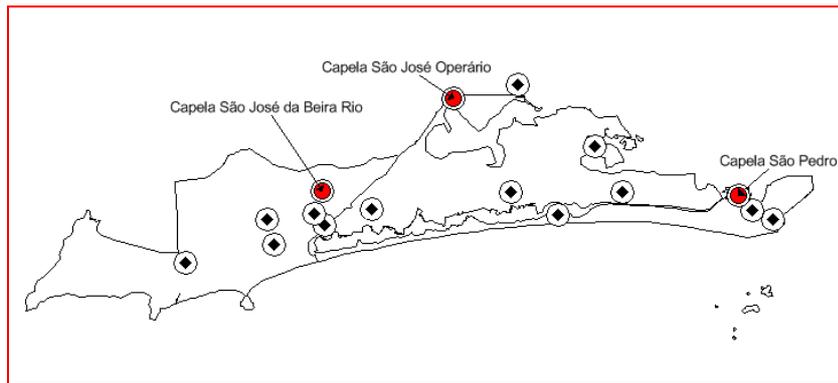
- ii) foi realizada uma reunião com o Monsenhor Jan Kaleta, Vigário Episcopal do Vicariato Jacarepaguá. Esta reunião foi muito proveitosa no sentido de orientar a escolha dos templos focalizados no trabalho;
- iii) informações dos *websites* da Arquidiocese do Rio de Janeiro, do Vicariato Jacarepaguá, e listagens fornecidas pelo mesmo Vicariato;
- iv) dados populacionais e de participação de católicos do censo do IBGE de 2010;
- v) mapas do Instituto Pereira Passos (IPP).

Os dados levantados foram compilados em tabelas e mapas com auxílio de Sistema de Informação Geográfica (SIG) , utilizando o *software* MapInfo Professional versão 6, com aplicações programadas no *software* MapBasic 6.0, e imagens de satélite do aplicativo Google Earth, como será mostrado na Seção 4.6.

4.5 Metodologia de Localização

A premissa do estudo é que cada fiel assiste, de preferência, ao culto na Igreja mais próxima de sua residência. Desta forma, a área de influência de cada Igreja é constituída das residências em que essa Igreja está mais próxima em relação às demais. A metodologia da localização segue o roteiro apresentado por Pizzolato *et al.* (2004), referente à localização de escolas públicas e busca verificar a qualidade das atuais localizações.

No caso estudado, existem atualmente $p = 16$ templos que oferecem pelo menos um culto por domingo. Entretanto, a frequência às capelas São Pedro, São José da Beira Rio e São José Operário, indicadas em vermelho no Mapa 8, limita-se aos fieis locais, com baixa capacidade de deslocamento, alcançando-as a pé e não de automóvel. Dessa forma, essas três capelas têm uma lógica inversa, ou seja, em lugar da Igreja atrair tais fieis, seriam eles que atraem a Igreja. Essas capelas tipicamente oferecem um único culto dominical e seus frequentadores são habitantes daquela região. Portanto, o estudo de caso considera fixas as áreas de abrangência dessas três pequenas capelas, excluindo-as do restante do estudo, que avalia a localização de $p = 13$ igrejas.



Mapa 8 – Capelas com Atratividade Fixa.

Este trabalho faz alguns estudos complementares, conforme os itens (a), (b) e (c) descritos abaixo e detalhados na Seção 4.7. Caso (a): Em relação às localizações atuais das Igrejas, são três os estudos: 1) determinar a área de abrangência de cada uma das $p=13$ igrejas existentes; 2) indicar a localização ideal de uma nova igreja ($p=13+1$) para inclusão no sistema; 3) definir qual Igreja, ($p=13-1$), cuja retirada cause a menor inconveniência coletiva; (b) ignorando a localização dos 13 templos atuais, calcular por diferentes métodos heurísticos qual seria a melhor localização de 13 templos na região, resultando em cinco estudos; e (c) a solução matematicamente ótima.

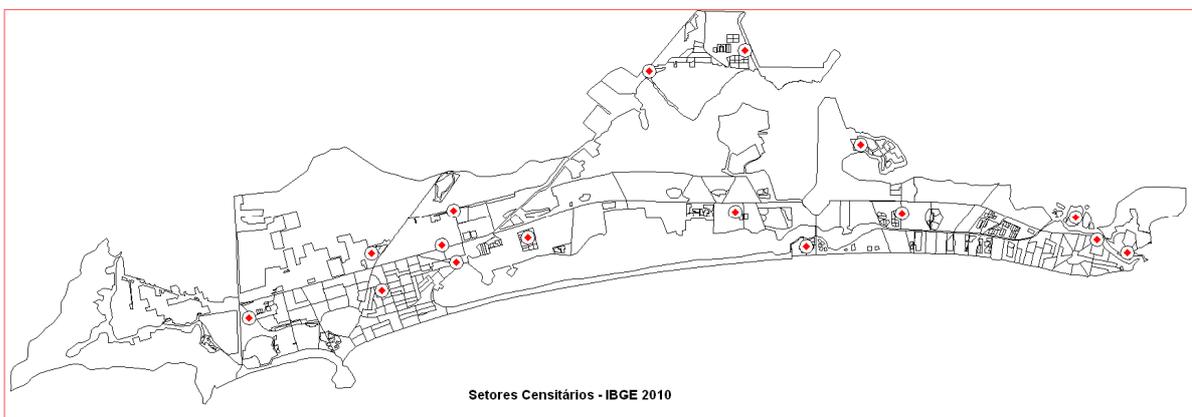
O modelo a ser resolvido, por algum método apropriado, seja exato seja heurístico, vem a ser o modelo PPM, mostrado na equação (5) da Seção 3.3.1. Trata-se de um modelo que costuma ser chamado de modelo de locação/alocação, ou seja, um modelo que define as localizações ideais – as p -medianas, ou valores x_{ii} , que podem assumir valores 0 ou 1, como explicado na Seção 3.3.1.- e define também, para cada centroide (grupos de fieis), qual Igreja seus integrantes frequentarão, de acordo com a maior proximidade, ou seja, os valores x_{ij} . Os parâmetros do problema são os custos de deslocamento ou inconveniência C_{ij} decorrente de movimentar o conjunto de fieis w_i do centroide i para a igreja localizada no centroide j , distante d_{ij} , onde:

$$C_{ij} = w_i d_{ij} \quad i, j = 1, \dots, n$$

Certamente, a localização ideal vem a ser aquela que minimiza o somatório C_{ij} para todos os centroides da região.

4.6 Modelagem dos Dados

Os dados do estudo estão baseados nos mapas digitais dos setores censitários do Censo IBGE 2010, unidades territoriais contíguas definidas pelo IBGE para controle cadastral e coleta dos dados por cada recenseador. O Mapa 9 mostra os templos existentes plotados sobre os polígonos dos 350 setores censitários da região, tendo cada setor, em média, cerca de 216 domicílios e 628 moradores.



Mapa 9 - Templos e Setores Censitários da Região de Estudo.
Fonte: IBGE – Censo de 2010.

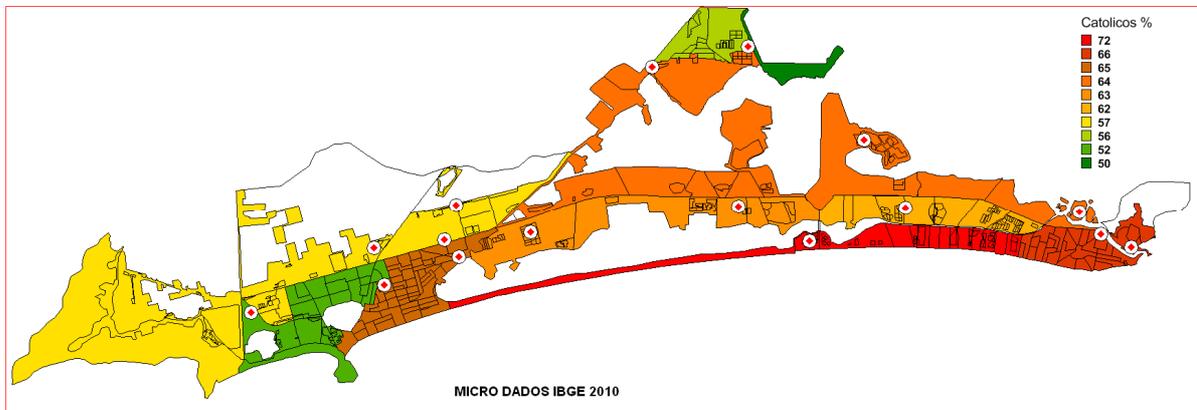
A base de mapas do estudo constitui-se de camadas com a localização dos templos, a estrutura viária, os setores censitários e ortofotos. Os polígonos originais dos setores censitários fornecidos pelo IBGE foram ajustados para aplicar uma base de dados mais adequada ao presente estudo.

Essas alterações que serão discutidas a seguir foram possíveis graças às funções automatizadas de gerenciamento gráfico de mapas, contidas no Sistema de Informação Geográfica - SIG.

4.6.1 População de Católicos

Como os setores censitários só contêm dados totais de população, foi necessário utilizar a pesquisa amostral, realizada no mesmo Censo de 2010, para estimar a população de católicos em cada setor censitário. A pesquisa amostral realizada define os percentuais de religião declarada da população e é consolidada

em áreas de ponderação, que são grupos de setores contíguos definidos pelo IBGE. O Mapa 10 apresenta os templos atuais e as diferentes concentrações de católicos existentes nas 10 áreas de ponderação da Barra de Tijuca e Recreio dos Bandeirantes.



Mapa 10 – Concentrações de católicos na Região do estudo.
Fonte: IBGE – Censo de 2010.

O valor absoluto de católicos de cada setor é calculado aplicando a participação porcentual de sua respectiva área de ponderação à população do setor, o que pode introduzir pequenas imprecisões ao redor dos valores médios.

4.6.2 Polígonos Concentradores da População de Católicos

Embora o contorno dos setores censitários retrate a localização da população ali residente, a representação dos vértices e da conectividade entre os habitantes é, em alguns casos, distorcida para utilizar o modelo baseado nos vértices. Desta forma, foram realizadas as seguintes correções.

- O mapa de setores censitários do IBGE consiste em polígonos adjacentes que, às vezes, não respeitam as barreiras geográficas (mar, lagoas, canais, montanhas). Nesses casos, a solução foi redesenhar os polígonos em que a adjacência é falsa, eliminando a conectividade entre os mesmos.

A Figura 4 apresentada um exemplo de solução em setores localizados nas imediações do canal de Marapendi que, apesar de terem sido vetorizados graficamente adjacentes, estão separados pelo canal.



Figura 4. Eliminando a conectividade entre de setores com barreiras geográficas.

- A determinação do centroide é problemática quando existem setores censitários contidos em outros setores, em razão dos condomínios. A solução é agregar esses setores tratando-os como um único. Esse agrupamento está mostrado na Figura 5, onde os seis setores do quadro à esquerda tornam-se somente três no quadro da direita. Dessa forma, os 350 setores originais foram reduzidos para 238 grupos de setores.

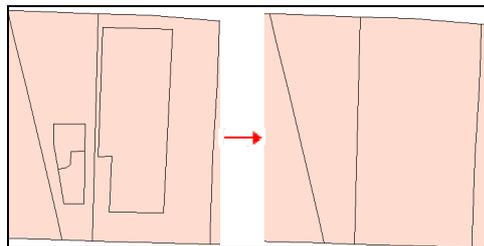


Figura 5. Agrupando setores envolvidos por outros setores

4.6.3 Vértices ou Centroides

Os 238 vértices ou centroides do modelo concentram a população de fiéis de cada um dos respectivos setores censitários, que seriam os centros de massa de cada setor. Cada templo existente também é alocado ao centroide do polígono em que se encontra. As soluções encontradas pelos algoritmos da melhor localização de 13 pontos também serão alocadas nesses vértices ou centroides.

Por vezes o polígono cobre áreas não habitadas, afastando o centroide geométrico do verdadeiro centro de massa do setor. Para evitar essa distorção, foi feita uma revisão do mapa, superpondo os polígonos a ortofotos. Nos casos

críticos, o centroide geométrico do polígono foi deslocado para locais habitados, numa posição mais próxima ao centro de massa. A Figura 6 ilustra essa situação.

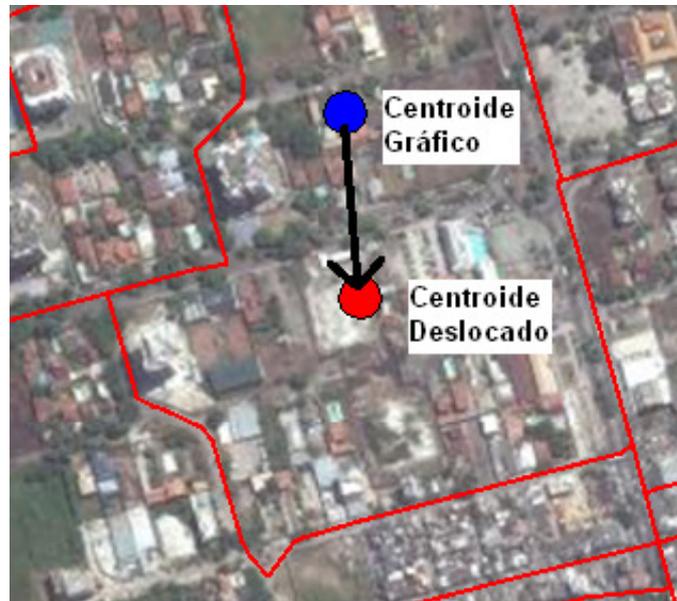


Figura 6. Deslocando o centroide para o centro de massa

4.6.4 Distâncias d_{ij}

O cálculo das distâncias entre os vértices obedeceu aos seguintes passos:

Foi criada uma rede conectando os 238 centroides com a rede das principais vias da região. A Figura 7 apresenta a conexão dos centroides à rede viária, através de uma rede auxiliar de arcos simétricos. Esses pontos de conexão fazem o papel de vértices fictícios, sem população associada, mas que podem ser pontos de passagem obrigatória entre dois vértices.

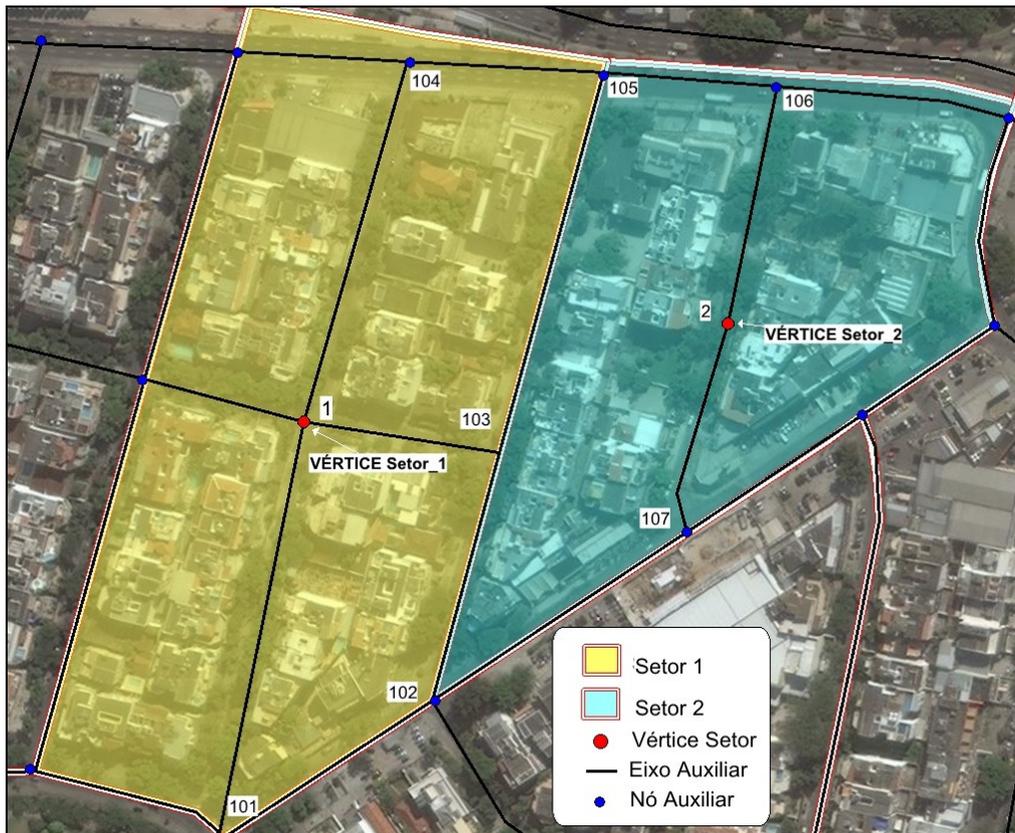


Figura 7. Rede Auxiliar de Arcos Simétricos.

A rede do estudo de caso tem 881 arcos e 580 nós, sendo 338 nós fictícios da rede viária. O cálculo do comprimento de cada arco foi feito através do SIG. A Figura 8 demonstra a estrutura viária utilizada.

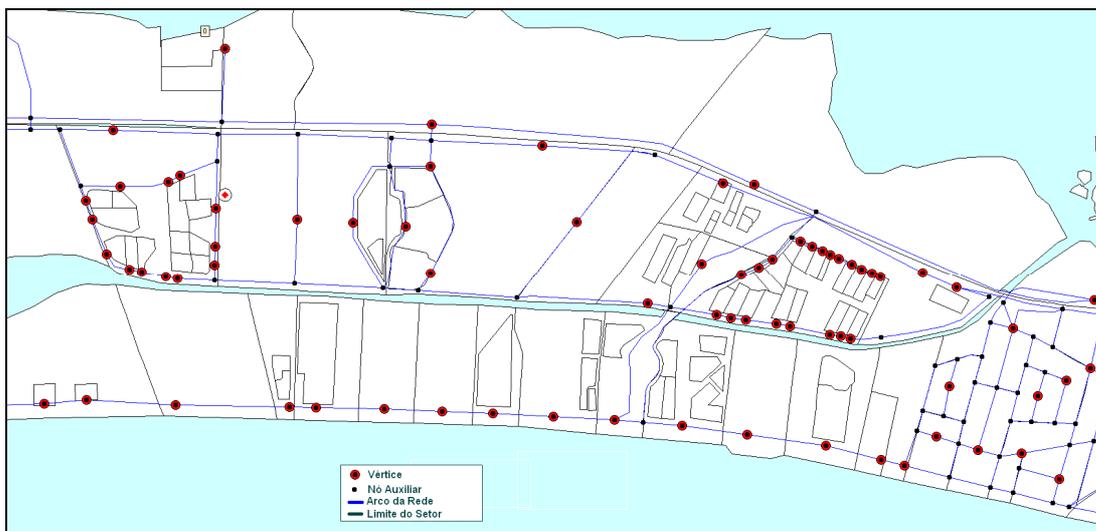


Figura 8 - Estrutura de Rede Viária utilizada no estudo.

Uma vez estabelecido o comprimento de cada um dos 881 arcos da rede, foi calculada a matriz de distâncias mínimas simétricas entre todos os 238 vértices. No cálculo, assume-se que a conectividade entre vértices deve obedecer à configuração da rede. Ou seja, ao invés de utilizar a distância euclidiana, ligando diretamente pares de vértices, a distância será o menor percurso percorrendo os arcos e nós auxiliares da rede. Assim, serão minimizadas distorções decorrentes da existência de barreiras geográficas e inexistência de vias. O cálculo da distância entre todos os vértices foi realizado através do algoritmo de Floyd, conforme descrito em Phillips et al. (1981). O algoritmo de *Floyd* é um algoritmo consagrado na determinação de distâncias mais curtas em uma rede entre todos os pares de nós, supondo que, entre cada origem e cada destino, o cliente trafegue de nó em nó.

4.6.5 Custos de Deslocamento dos Fieis c_{ij}

O custo de deslocamento dos fieis entre o vértice i e o vértice j consiste na população de i (w_i) multiplicada pela distância entre i e j .

$$C_{ij} = w_i * d_{ij}$$

Desta forma é gerada a matriz assimétrica de custo de deslocamento entre todos os 238 vértices do problema.

4.7 Estudos Efetuados

Foram realizados diversos estudos, conforme discussão feita a partir do Capítulo 3, e sintetizados a partir da Seção 4.8.1 abaixo, a qual se encontra subdividida em três partes, a saber: (a) Estudos analisando a rede atual dos templos, subdividido em três casos; (b) Estudos buscando a melhor localização de 13 pontos na região, subdividido em cinco casos; e (c) A solução exata. Portanto, são nove as soluções alcançadas, todas acompanhadas de mapas e tabelas sintetizando os resultados para cada Região de abrangência. Todas essas tabelas têm as seguintes colunas:

- Católicos - População de católicos na área de abrangência
- População - População residente na área de abrangência. A relação Católicos/População pode indicar a participação de católicos na área de abrangência.
- Área (km²) – Dimensão da área de abrangência de cada Igreja.
- Distância Máxima (m) – Indica para cada área de abrangência a maior distância de um setor para o centroide, ou seja, a distância entre o setor mais afastado e a Igreja correspondente.
- Distância Média (m) – Indica a distância média de deslocamento dos fieis de cada área de abrangência, ou seja, a distância média entre todos os setores à Igreja de sua área de abrangência.
- Custo Z/1.000 – É 1/1.000 do custo de inconveniência coletiva Z. Este é o índice utilizado para comparar os resultados das soluções.

Os mapas apresentam a posição dos templos ou regiões etiquetados e coloridos de forma compatível às respectivas tabelas.

Cabe lembrar que os estudos consideraram fixas as áreas de abrangência das três pequenas capelas utilizadas para atendimento puramente local. Apesar de incluídas nos mapas e tabelas a seguir, estas capelas foram tratadas de modo exógeno aos estudos efetuados. Assim, os estudos foram realizados com base em $p=13$ Igrejas.

Os três primeiros estudos com suas tabelas e mapas encontram-se discutidos a partir da Seção 4.7.1; os cinco estudos seguintes encontram-se descritos a partir da Seção 4.7.4 até a Seção 4.7.8 e a solução exata encontra-se na Seção 4.7.9. Cabe notar que as soluções a partir da Seção 4.7.4 tem sentido comparativo, pois elas supõem que as Igrejas possam ser deslocadas de seus atuais endereços, o que faria sentido em áreas em processo de ocupação, mas não faria sentido em áreas de ocupação consolidada.

a. Estudos analisando a rede atual de templos

São estudos que avaliam o número estimado de fieis, podendo ser utilizados operacionalmente pelas paróquias para dimensionar a capacidade dos templos atuais, a frequência de cultos e a alocação de párocos, e para decisões relativas ao patrimônio imobiliário. Os três estudos consistem em:

- Definir as regiões de abrangência dos templos existentes, ou seja, quais setores censitários são direcionados a cada Igreja. A Seção 4.7.1 indica os dados estatísticos correspondentes com a Tabela 5 e o Mapa 12;
- Indicar o local ideal para a inclusão de um novo templo (Seção 4.7.2);
- Selecionar o templo da rede mais apropriado para ser eliminado, caso tal exclusão seja desejável (Seção 4.7.3).

b. Estudos buscando a melhor localização de 13 pontos na região

São aqueles estudos que buscam a melhor localização de 13 pontos na região, ignorando as localizações atuais. Os estudos aplicam o algoritmo guloso (Seção 3.3.2.II), Maranzana (Seção 3.3.2 III), e o algoritmo Misto (Seção 3.3.2 IV). A estratégia adotada consistiu em realizar cinco experimentos.

- Experimento 1.1 - Método Maranzana a partir da posição dos templos atuais, chamado *Mrz-Atu* e apresentado na Seção 4.7.4. (Nota: Foi aplicado o método de Maranzana, usando como solução inicial, exigida pelo método, a posição atual das Igrejas);
- Experimento 1.2 – Método Misto a partir da solução do Experimento 1.1, chamado *Misto-Mrz-Atu* e apresentado na Seção 4.7.5. (NOTA: Foi aplicado o método Misto em sucessão ao método de Maranzana e usando como solução inicial a posição atual das Igrejas);
- Experimento 2.1 - Método Guloso para identificar os $p=13$ pontos, e apresentado na Seção 4.7.6.
- Experimento 2.2 - Método Maranzana a partir da solução do Experimento 2.1, chamado *Mrz-Gul*, e apresentado na Seção 4.7.7. (NOTA: Foi

aplicado o método de Maranzana, usando como solução inicial, exigida pelo método, a solução obtida pelo método guloso);

- Experimento 2.3 - Método Misto a partir da solução do Experimento 2.2, chamado *Misto-Mrz-Gul*, e apresentado na Seção 4.7.8.(NOTA: Foi aplicado o método Misto em sucessão ao método de Maranzana, usando como solução inicial a solução proposta pelo método guloso).

c. A Solução Exata

A posição exata (matematicamente ótima) para $p=13$ pontos foi calculada com objetivo de mensurar a qualidade dos resultados das heurísticas utilizadas nos estudos e se encontra discutida na Seção 4.7.9. O cálculo da solução exata do modelo da p-mediana se baseia na tese de doutorado de Alzamora (2013). O método de solução aplicado foi o algoritmo *branch-and-cut*, que é o método de solução padrão do Solver CPLEX 12.4, utilizado pelo software AIMMS 3.12.

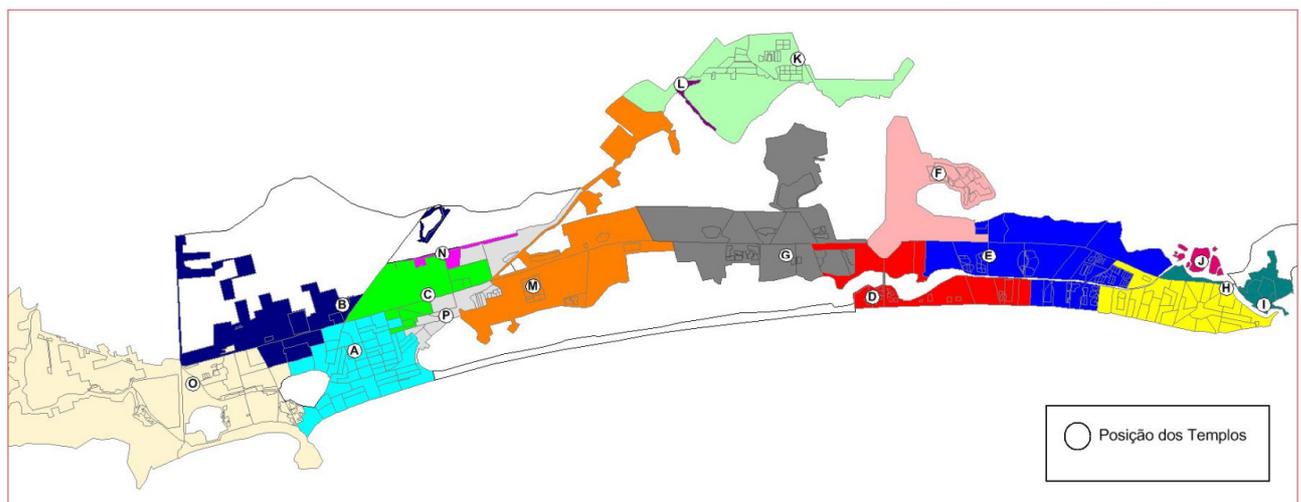
4.7.1 Território dos Templos Atuais

Pelo critério de distância mínima, cada vértice foi alocado ao templo mais próximo. A área de influência de cada templo abrange os polígonos cujos vértices estão alocados a esse templo.

A Tabela 5 e o Mapa 11 apresentam os indicadores dos templos e suas áreas de abrangência. No modelo, a Capela Santa Rosa de Lima (E) atrai o maior número de católicos e possui a maior distância máxima.

Tabela 5 - Indicadores da Rede Atual.

ID	Cor	Templo	Católicos	População	Área km ²	Dist. Máxima (m.)	Dist. Média (m.)	Custo Z/1000
A		Paróquia Imaculada Conceição	20.497	33.983	2,95	2.278	804	16.483
B		Capela São Tarcísio	6.400	11.453	3,00	2.959	1.438	9.205
C		Capela Santa Paulínia	3.236	5.425	1,85	1.233	688	2.226
D		Paróquia Nossa Senhora da Vitória	8.994	12.812	2,18	2.942	1.347	12.114
E		Capela Santa Rosa de Lima	28.596	44.277	4,56	3.022	2.010	57.464
F		Paróquia Santo Antonio	3.727	5.949	2,82	659	85	316
G		Paróquia Santo Agostinho	14.075	22.215	5,26	1.815	935	13.157
H		Paróquia São Francisco de Paula	15.176	22.954	2,24	2.638	1.252	19.002
I		Igreja Santa Terezinha	1.326	2.018	0,70	1.781	324	430
J		Capela São Pedro (FIXA)	1.065	1.670	0,24	0	0	0
K		Paróquia S.Marcelino Champagnat	11.762	20.088	3,90	2.822	1.075	12.645
L		Capela S.José Operário (FIXA)	799	1.252	0,10	0	0	0
M		Paróquia São Marcos	8.869	14.024	4,90	2.288	771	6.841
N		Capela S.José Beira Rio (FIXA)	3.064	5.349	0,22	0	0	0
O		Paróquia São Pedro do Mar	16.450	30.303	12,24	1.942	1.285	21.144
P		Santuário de Fátima	5.744	9.103	1,42	1.270	611	3.512
		TOTAL	149.780	242.875	48,58		1.165	174.538



Mapa 11 - Áreas de Influência da Rede Atual.

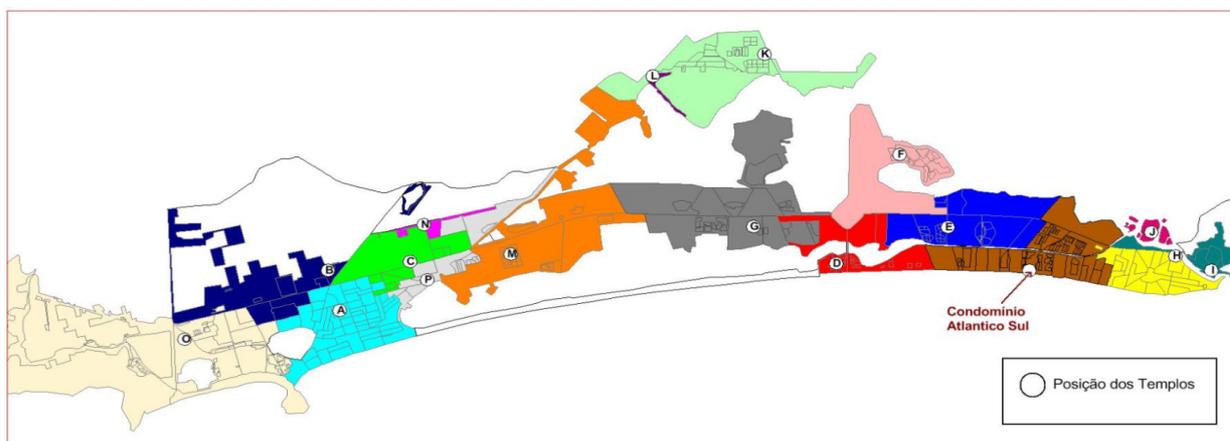
4.7.2 Local para Implantação de um Novo Templo

Consistiu em buscar, entre os $225 = 238 - 13$ vértices da rede sem templo, o vértice cuja inclusão cause o menor custo total na rede.

A solução indicou o Condomínio Atlântico Sul como o melhor local para adicionar um novo templo. A rede passa a ter as configurações expressas na Tabela 6 e no Mapa 12. O novo templo no Atlântico Sul seria o mais atrativo da rede, tendo 71% de seus fiéis derivados da Capela Santa Rosa de Lima (E), 16 % da Paróquia São Francisco de Paula (H) e 13 % da Paróquia NSA da Vitória (D).

Tabela 6 - Indicadores da Rede com Inclusão de um Templo.

ID	Cor	Templo	Católicos	População	Área km ²	Dist. Máxima (m.)	Dist. Média (m.)	Custo Z/1000
A		Paróquia Imaculada Conceição	20.497	33.983	2,95	2.278	804	16.483
B		Capela São Tarcísio	6.400	11.453	3,00	2.959	1.438	9.205
C		Capela Santa Paulínia	3.236	5.425	1,85	1.233	688	2.226
D		Paróquia Nossa Senhora da Vitória	5.772	8.336	1,62	1.743	690	3.984
E		Capela Santa Rosa de Lima	10.301	16.541	2,83	2.083	1.132	11.662
F		Paróquia Santo Antonio	3.727	5.949	2,82	659	85	316
G		Paróquia Santo Agostinho	14.075	22.215	5,26	1.815	935	13.157
H		Paróquia São Francisco de Paula	11.139	16.968	1,53	1.827	944	10.517
I		Igreja Santa Terezinha	1.326	2.018	0,70	1.781	324	430
J		Capela São Pedro (FIXA)	1.065	1.670	0,24	0	0	0
K		Paróquia S.Marcelino Champagnat	11.762	20.088	3,90	2.822	1.075	12.645
L		Capela S.José Operário (FIXA)	799	1.252	0,10	0	0	0
M		Paróquia São Marcos	8.869	14.024	4,90	2.288	771	6.841
N		Capela S.José Beira Rio (FIXA)	3.064	5.349	0,22	0	0	0
O		Paróquia São Pedro do Mar	16.450	30.303	12,24	1.942	1.285	21.144
P		Santuário de Fátima	5.744	9.103	1,42	1.270	611	3.512
		Condom. Atlântico Sul (NOVA)	25.554	38198	3,01	1.766	947	24.206
		TOTAL	149.780	242.875	48,59		910	136.326



Mapa 12 - Áreas de Influência da Rede Incluindo um Templo.

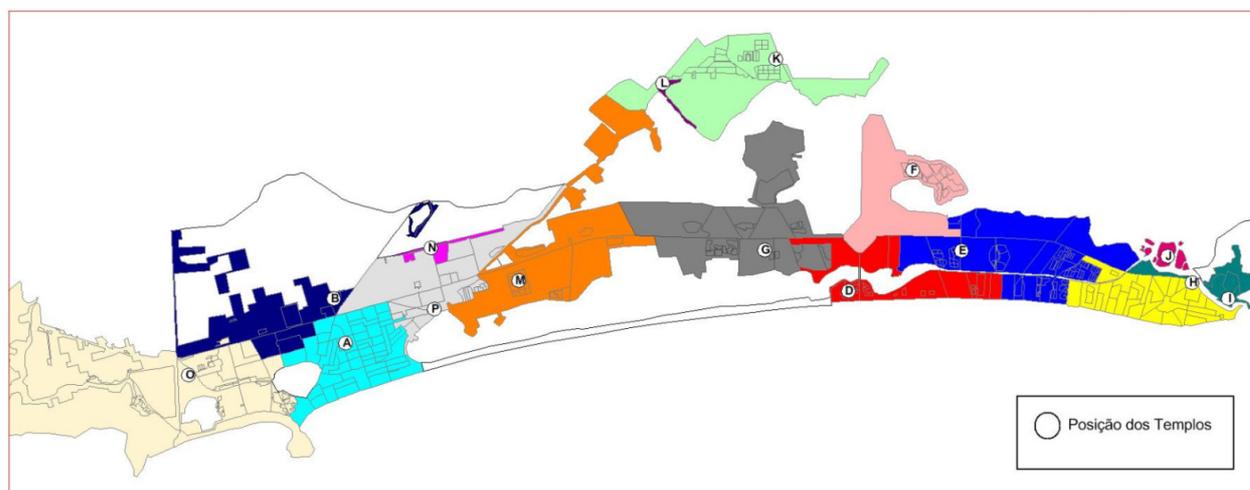
4.7.3 Retirada de um Templo

Nesse estudo foram executadas 13 simulações. Cada simulação retirou um dos templos da rede atual e calculado o custo de deslocamento do sistema. A solução será o templo cuja retirada cause o menor custo Z.

O estudo indicou a retirada da Capela Santa Paulina, com um acréscimo de menos de 1% na inconveniência coletiva da rede, com 84 % de seus fiéis deslocando-se para o Santuário de Fátima (P) e o restante para a Paróquia Imaculada Conceição (A). Os resultados encontram-se na Tabela 7 e no Mapa 13.

Tabela 7 - Indicadores da Rede com a Retirada de um Templo.

ID	Cor	Templo	Católicos	População	Área km ²	Dist. Máxima (m.)	Dist. Média (m.)	Custo Z/1000
A		Paróquia Imaculada Conceição	21.001	34.768	3,04	2.278	812	17.044
B		Capela São Tarcísio	6.400	11.453	3,00	2.959	1.438	9.205
D		Paróquia Nossa Senhora da Vitória	8.994	12.812	2,18	2.942	1.347	12.114
E		Capela Santa Rosa de Lima	28.596	44.277	4,56	3.022	2.010	57.464
F		Paróquia Santo Antonio	3.727	5.949	2,82	659	85	316
G		Paróquia Santo Agostinho	14.075	22.215	5,26	1.815	935	13.157
H		Paróquia São Francisco de Paula	15.176	22.954	2,24	2.638	1.252	19.002
I		Igreja Santa Terezinha	1.326	2.018	0,70	1.781	324	430
J		Capela São Pedro (FIXA)	1.065	1.670	0,24	0	0	0
K		Paróquia S.Marcelino Champagnat	11.762	20.088	3,90	2.822	1.075	12.645
L		Capela S.José Operário (FIXA)	799	1.252	0,10	0	0	0
M		Paróquia São Marcos	8.869	14.024	4,90	2.288	771	6.841
N		Capela S.José Beira Rio (FIXA)	3.064	5.349	0,22	0	0	0
O		Paróquia São Pedro do Mar	16.450	30.303	12,24	1.942	1.285	21.144
P		Santuário de Fátima	8.476	13.743	3,18	2.125	754	6.390
		TOTAL	149.780	242.875	48,58		1.173	175.751



Mapa 13 - Áreas de Influência da Rede Retirando um Templo.

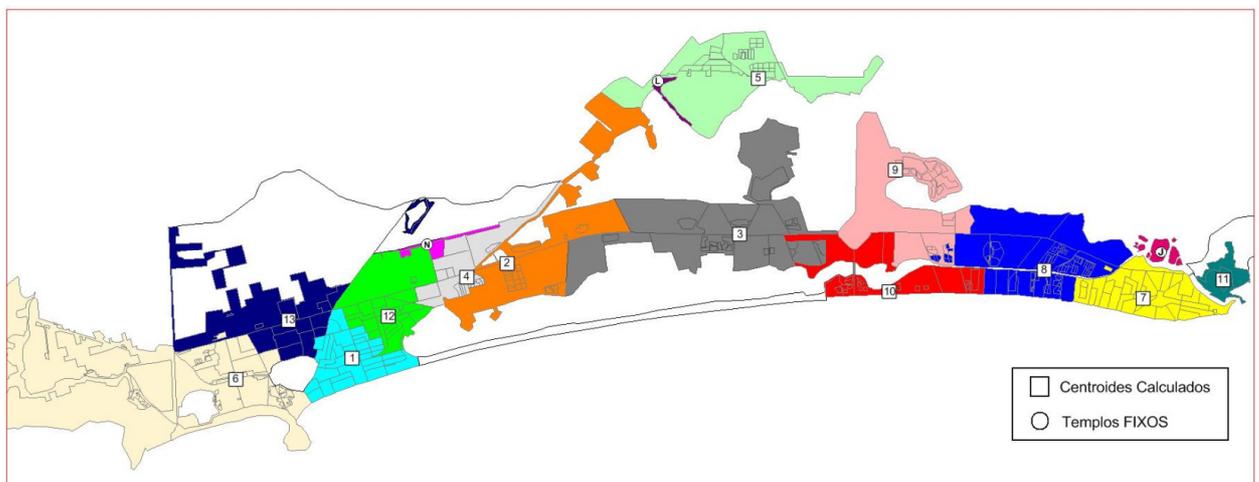
4.7.4 Experimento 1.1 - (*Mrz-Atu*) - Maranzana Aplicado à Rede Atual

Esta operação executou o método Maranzana, tendo como solução inicial a posição dos 13 templos da rede atual (Seção 4.7.1).

A solução reduziu a inconveniência coletiva atual em 27 %. A Região 8 (azul), semelhante à da Capela Santa Rosa de Lima, mantém-se como a de maior atratividade. A Tabela 8 e o Mapa 14 apresentam os indicadores e os contornos das áreas dos 13 pontos estudados e das capelas locais (Regiões J, L e M).

Tabela 8 - Indicadores da Rede criada pelo Método *Mrz-Atu*

Região	Cor	Católicos	População	Área km ²	Dist. Máxima (m.)	Dist. Média (m.)	Custo Z/1000
1		12.702	20.684	1,81	1.539	599	7.605
2		8.430	13.341	4,09	2.125	692	5.837
3		14.514	22.898	6,07	2.288	911	13.216
4		5.217	8.469	1,48	919	314	1.641
5		11.762	20.088	3,90	2.883	976	11.483
6		16.664	30.637	12,38	2.191	866	14.424
7		14.053	21.268	2,12	1.527	724	10.179
8		26.914	41.383	4,12	2.390	1.105	29.740
9		7.024	11.219	3,65	2.725	1.151	8.082
10		8.539	12.180	2,07	2.133	1.239	10.582
11		1.289	1.960	0,56	360	204	263
12		8.180	12.940	2,40	1.325	522	4.271
13		9.564	17.537	3,38	3.194	1.053	10.071
J		3.064	5.349	0,22	0	0	0
L		799	1.252	0,10	0	0	0
N		1.065	1.670	0,24	0	0	0
TOTAL		149.780	242.875	48,59		851	127.393



Mapa 14 - Áreas de Influência da Rede do Método *Mrz-Atu*.

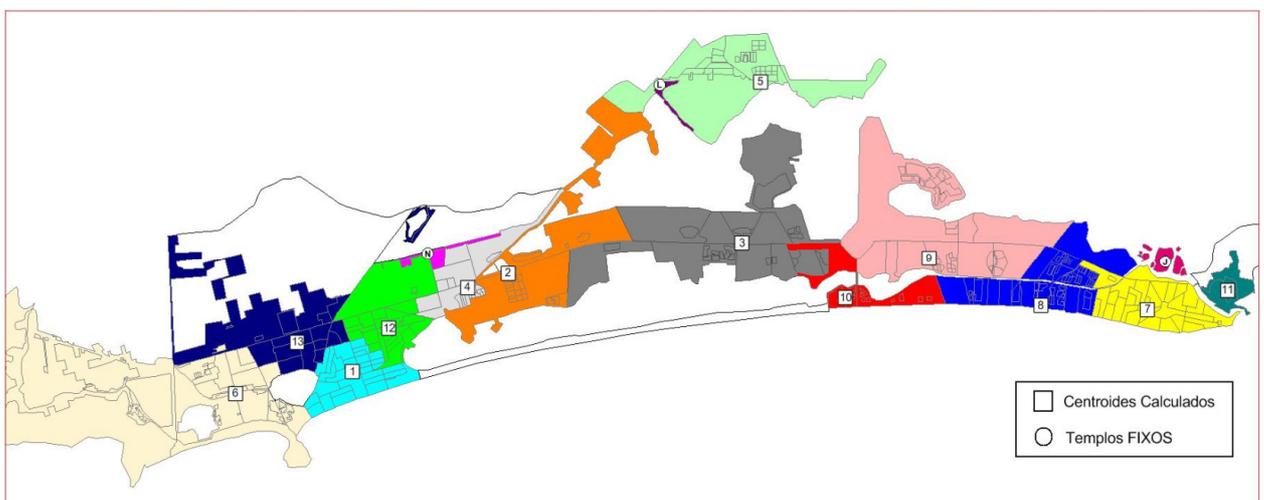
4.7.5 Experimento 1.2 - (Misto-Mrz-Atu) - Misto Aplicado à solução MrzAtu

Foi executado o método Misto, descrito na Seção 3.3.2 IV, sendo os centroides iniciais os 13 pontos da solução de *Mrz-Atu* (Seção 4.7.4).

A solução reduziu em 5 % a inconveniência coletiva da solução anterior (*Mrz-Atu*). A Região 8 (azul) manteve-se como a de maior atratividade. A maior distância máxima está próxima das Vargens, na Região 13 (azul escuro). Os resultados estão na Tabela 9 e no Mapa 15.

Tabela 9 - Indicadores da Rede criada pelo Método *Misto-Mrz-Atu*

Região	Cor	Católicos	População	Área km ²	Dist. Máxima (m.)	Dist. Média (m.)	Custo Z/1000
1		11.550	18.470	1,62	1.539	562	6.488
2		8.430	13.341	4,09	2.125	692	5.837
3		14.514	22.898	6,07	2.288	911	13.216
4		5.217	8.469	1,48	919	314	1.641
5		11.762	20.088	3,90	2.883	976	11.483
6		16.664	30.637	12,38	2.191	866	14.424
7		13.663	20.859	2,12	1.527	708	9.675
8		23.897	35.704	2,77	1.766	911	21.771
9		14.245	22.839	5,90	2.131	1.326	18.891
10		4.725	6.648	1,18	1.743	494	2.335
11		1.289	1.960	0,56	360	204	263
12		8.180	12.940	2,40	1.325	522	4.271
13		10.716	19.751	3,57	3.444	1.029	11.028
J		3.064	5.349	0,22	0	0	0
L		799	1.252	0,10	0	0	0
N		1.065	1.670	0,24	0	0	0
TOTAL		149.780	242.875	48,60		810	121.322



Mapa 15 - Áreas de Influência da Rede do Método *Misto-Mrz-Atu*.

4.7.6

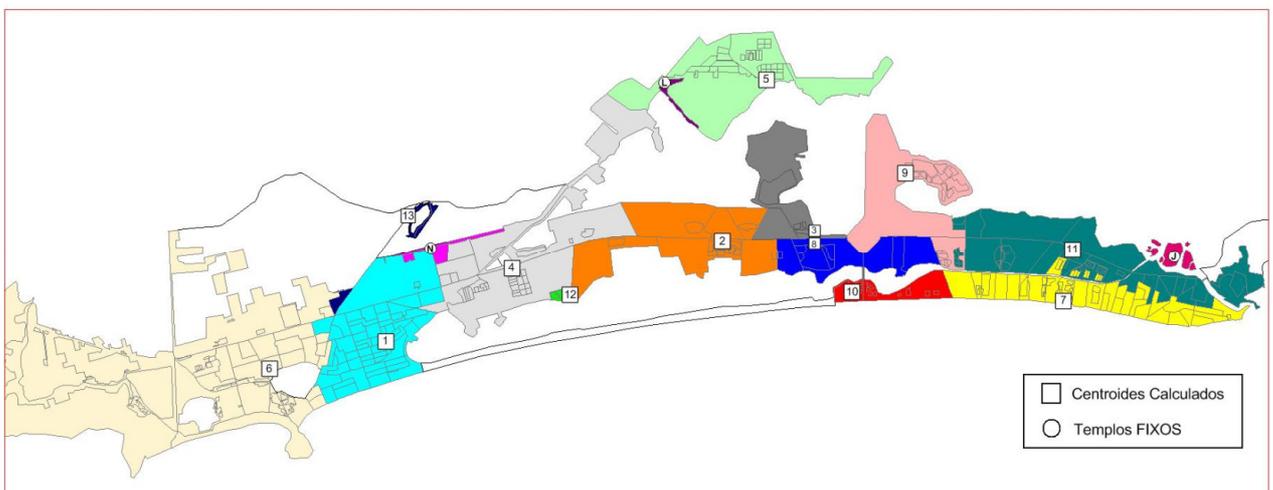
Experimento 2.1 - Localização dos 13 pontos pelo método Guloso

O método Guloso, foi aplicado aos 238 vértices da rede, buscando os 13 pontos iniciais da Série 2, mantendo fixas as 3 capelas locais (regiões J, L e N). Os resultados encontram-se na Tabela 10 e Mapa 16.

A inconveniência coletiva da solução é 17 % menor que a da rede atual. A Região 6 (creme) é a mais atrativa. As solução é heterogênea com alta distância máxima na Região 11 (verde escuro) e pequenas dimensões das regiões 12 e 13.

Tabela 10 - Indicadores da Rede criada pelo Método Guloso.

Região	Cor	Católicos	População	Área km ²	Dist. Máxima (m.)	Dist. Média (m.)	Custo Z/1000
1	Ciano	20.462	32.833	4,21	1.720	825	16.890
2	Laranja	8.524	13.443	3,58	1.763	496	4.226
3	Cinza	2.603	4.080	1,91	770	128	333
4	Verde Claro	11.532	18.466	5,36	1.460	629	7.251
5	Amarelo	11.762	20.088	3,90	2.883	976	11.483
6	Amarelo Claro	25.636	47.118	15,70	2.995	1.193	30.594
7	Amarelo Escuro	24.595	36.093	2,71	3.199	1.177	28.956
8	Azul	5.268	8.397	1,80	1.801	569	2.997
9	Rosa	5.796	9.285	3,11	2.538	863	5.004
10	Vermelho	4.298	5.970	0,74	1.743	426	1.831
11	Verde Escuro	21.249	33.640	4,73	3.970	1.586	33.705
12	Verde Claro	1.685	2.674	0,08	0	0	0
13	Verde Escuro	1.442	2.517	0,19	1.894	651	939
J	Vermelho	3.064	5.349	0,22	0	0	0
L	Púrpura	799	1.252	0,10	0	0	0
N	Magenta	1.065	1.670	0,24	0	0	0
TOTAL		149.780	242.875	48,58		963	144.209



Mapa 16 - Áreas de Influência da Rede do Método Guloso.

4.7.7

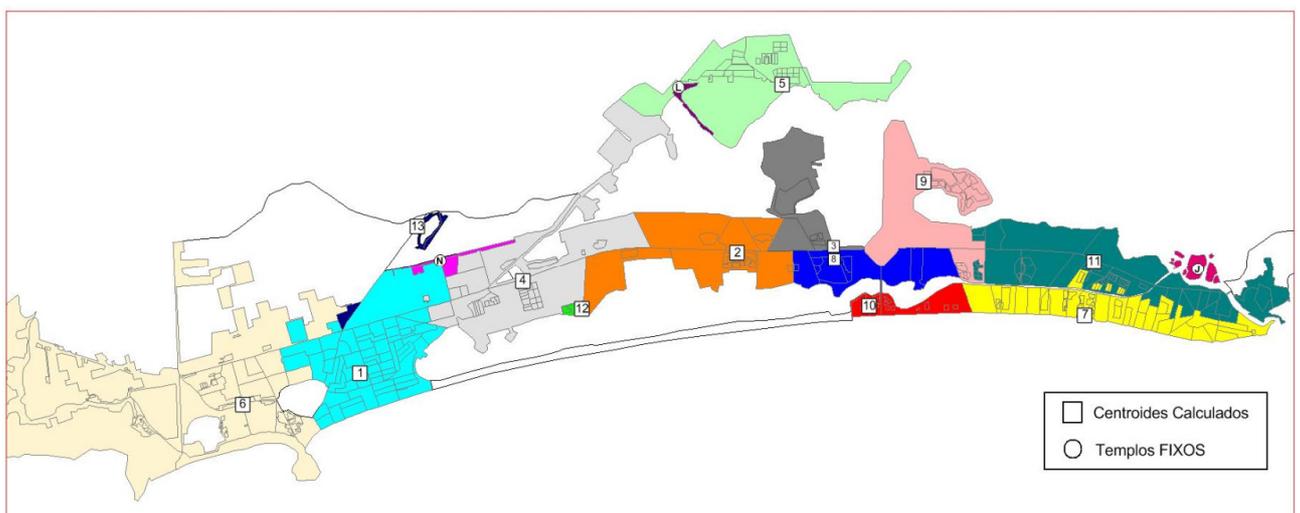
Experimento 2.2 - (*Mrz-Gul*) - Maranzana a partir do Guloso

Foi executado o método Maranzana, tendo como solução inicial os 13 vértices encontrados na solução do Guloso (Seção 4.7.6).

A solução reduziu apenas em 1 % a inconveniência coletiva da solução do Guloso. A Região 7 (amarelo) passa a ser a mais atrativa, e os problemas de distância máxima (Região 11) e de pequenas dimensões (Regiões 12 e 13) persistem. A Tabela 11 e o Mapa 17 apresentam os resultados.

Tabela 11 - Indicadores da Rede criada pelo Método *Mrz-Gul*

Região	Cor	Católicos	População	Área km ²	Dist. Máxima (m.)	Dist. Média (m.)	Custo Z/1000
1		25.056	41.523	4,91	2.439	917	22.971
2		8.524	13.443	3,58	1.763	496	4.226
3		2.603	4.080	1,91	770	128	333
4		12.357	19.825	5,49	1.862	707	8.741
5		11.762	20.088	3,90	2.883	976	11.483
6		20.217	37.069	14,87	3.276	1.032	20.866
7		24.595	36.093	2,71	3.199	1.177	28.956
8		5.268	8.397	1,80	1.801	569	2.997
9		5.796	9.285	3,11	2.538	863	5.004
10		4.298	5.970	0,74	1.743	426	1.831
11		21.249	33.640	4,73	3.970	1.586	33.705
12		1.685	2.674	0,08	0	0	0
13		1.442	2.517	0,19	1.894	651	939
J		3.064	5.349	0,22	0	0	0
L		799	1.252	0,10	0	0	0
N		1.065	1.670	0,24	0	0	0
TOTAL		149.780	242.875	48,58		948	142.053



Mapa 17 - Áreas de Influência da Rede do Método *Mrz-Gul*.

4.7.8

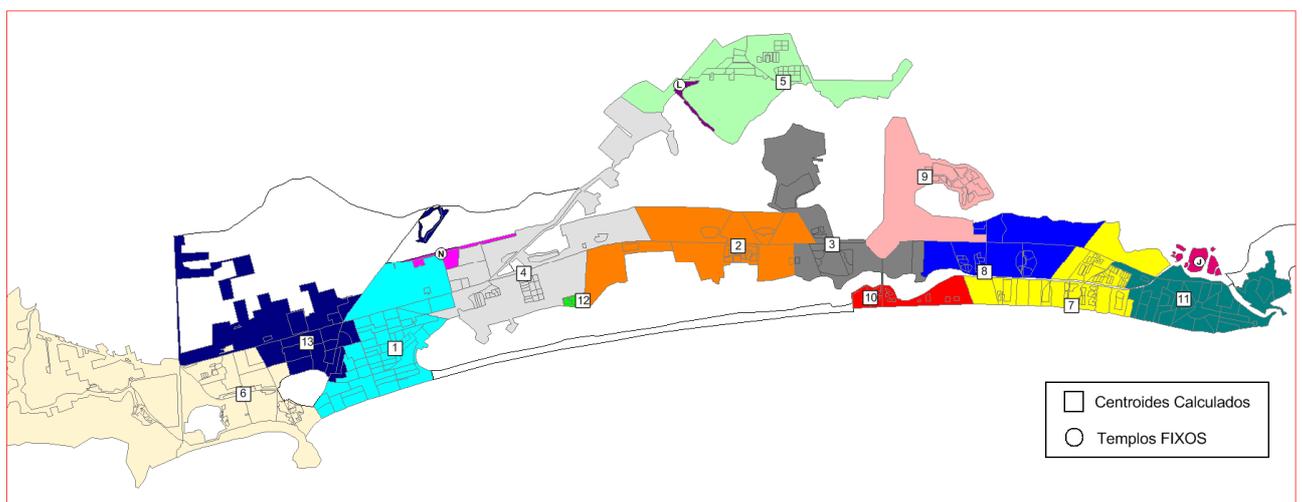
Experimento 2.3 - (Misto-Mrz-Gul) - Misto Aplicado à solução Mrz-Gul

O método Misto foi aplicado nos 13 pontos da solução *Mrz-Gul* (Seção 4.7.7), obtendo a melhor solução entre as heurísticas aplicadas.

A solução reduziu em 18 % a inconveniência coletiva anterior (solução *Mrz-Gul*), diminuiu a distância máxima, mas não ajustou a pequena dimensão da Região 12. Os indicadores dos resultados do método encontram-se na Tabela 12 e Mapa 18.

Tabela 12 - Indicadores da Rede criada pelo Método *Misto-Mrz-Gul*

Região	Cor	Católicos	População	Área km ²	Dist. Máxima (m.)	Dist. Média (m.)	Custo Z/1000
1		18.086	28.372	3,97	2.022	789	14.262
2		8.957	14.122	3,92	1.763	522	4.680
3		7.031	11.142	3,04	1.387	710	4.989
4		11.532	18.466	5,36	1.460	629	7.251
5		11.762	20.088	3,90	2.883	976	11.483
6		16.664	30.637	12,38	2.191	866	14.424
7		24.119	36.041	2,80	1.766	913	22.012
8		9.471	15.202	2,63	2.296	993	9.406
9		3.727	5.949	2,82	659	85	316
10		4.298	5.970	0,74	1.743	426	1.831
11		14.730	22.482	2,64	3.438	918	13.527
12		1.685	2.674	0,08	0	0	0
13		12.790	23.459	3,74	3.444	1.011	12.929
J		3.064	5.349	0,22	0	0	0
L		799	1.252	0,10	0	0	0
N		1.065	1.670	0,24	0	0	0
TOTAL		149.780	242.875	48,58		782	117.109



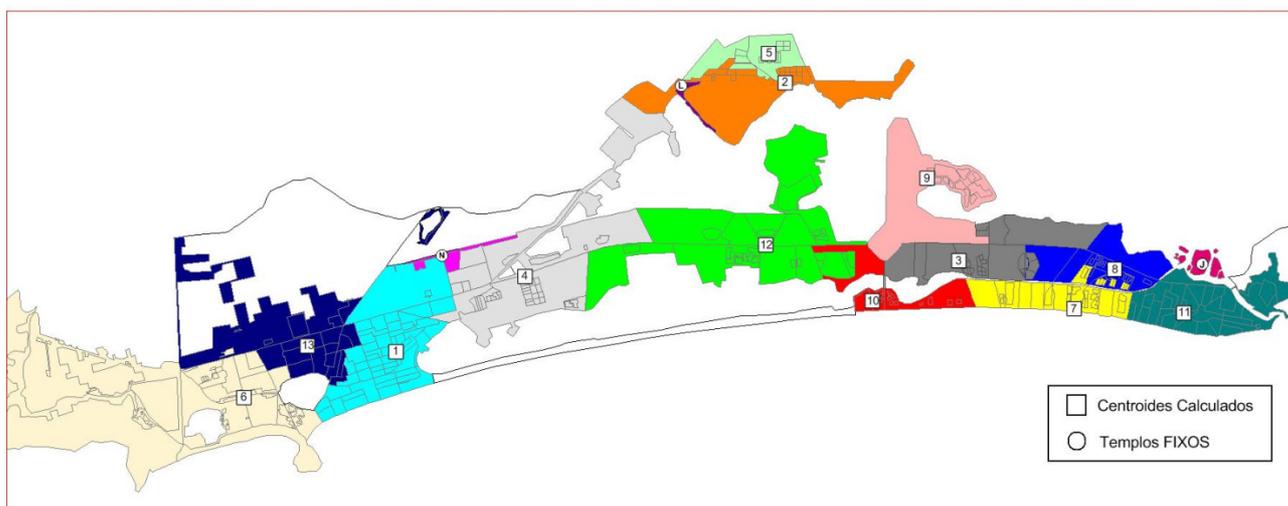
Mapa 18 - Áreas de Influência da Rede do Método *Misto-Mrz-Gul*.

4.7.9 Solução Exata

A posição exata (ótima) dos 13 pontos da rede foi calculada com objetivo de comparar a qualidade dos resultados das heurísticas utilizadas nos estudos. A inconveniência coletiva da solução exata foi menor que o valor Z da rede atual. A distância máxima dessa solução encontra-se na Região 11. Visualizando o Mapa 19, verifica-se o território da Região 5 (Rio-2), inalterado em todas as soluções anteriores, foi dividido com Região 2. A Tabela 13 apresenta os indicadores.

Tabela 13 - Indicadores da Rede da Solução Exata

Região	Cor	Católicos	População	Área km ²	Dist. Máxima (m.)	Dist. Média (m.)	Custo Z/1000
1		18.086	28.372	3,97	2.022	789	14.262
2		6.570	10.770	2,81	1.407	356	2.337
3		10.152	16.299	2,68	1.709	1.010	10.252
4		13.217	21.140	5,44	2.125	820	10.832
5		5.192	9.318	1,09	2.148	647	3.361
6		16.664	30.637	12,38	2.191	866	14.424
7		16.602	23.950	1,57	1.766	699	11.604
8		8.699	14.020	1,76	1.296	482	4.189
9		3.727	5.949	2,82	659	85	316
10		4.725	6.648	1,18	1.743	494	2.335
11		13.914	21.144	2,51	3.636	909	12.654
12		14.514	22.898	6,07	2.288	911	13.216
13		12.790	23.459	3,74	3.444	1.011	12.929
J		3.064	5.349	0,22	0	0	0
L		799	1.252	0,10	0	0	0
N		1.065	1.670	0,24	0	0	0
TOTAL		149.780	242.875	48,58		753	112.711



Mapa 19 - Áreas de Influência da Rede da Solução Exata.

4.8 Avaliação dos Resultados

4.8.1 Dados Analisados

Nesta seção será realizada uma análise comparativa das configurações de cada solução. Cabe assinalar que, embora o índice de redução da inconveniência coletiva (Z) seja o principal critério de avaliação das soluções, as soluções também podem ser avaliadas sob os critérios de média das distâncias máximas e homogeneidade entre as regiões. A homogeneidade de cada solução é expressa pelo coeficiente de dispersão de Z , calculado por meio do desvio-padrão dos custos Z das regiões dividido pela média de Z . A Tabela 14 sumariza os resultados exibidos nas tabelas das soluções (Tabelas 5 a 13, acima). A Tabela 14 tem oito colunas. A primeira informa o experimento efetuado, começando com as localizações atuais; a segunda informa o valor da inconveniência coletiva, dada por $Z/1000$; a terceira mensura a variação de $Z/1000$ comparada com a rede atual; a quarta coluna indica a dispersão dos valores de Z da solução; a quinta mensura a variação da dispersão comparada com a rede atual; a sexta apresenta a distância média percorrida pelos fieis para alcançarem a igreja mais próxima; a sétima coluna indica a média das distâncias máximas que os fieis são obrigados a percorrer nas regiões de cada solução; e a oitava coluna indica a variação da média das distâncias máximas, relativamente à distância atual.

A Tabela 14 está colorida de acordo com o tipo de experimento, ou seja, em amarelo referente aos estudos analisando a rede atual de templos, em azul claro os estudos buscando a otimização pelos dois Experimentos 1, em verde claro os estudos buscando a otimização pelos três Experimentos 2 e em rosa a solução Exata. As linhas indicam os resultados referentes a cada um dos experimentos realizados, quais sejam:

1. Rede Atual, que significa a localização existente das $p=13$ igrejas;
2. Mais Um - Melhor local para incluir uma Igreja na rede atual, resultando em $p=14$ Igrejas;
3. Menos Um – Templo mais indicado para ser retirado da Rede Atual, resultando em $p=12$ Igrejas;

4. Mrz-Atu - Solução encontrada pelo Método Maranzana, usando-se como solução arbitrária inicial a localização atual dos templos;
5. Misto-Mrz-Atu - A solução encontrada pelo Método Misto, usando-se como solução arbitrária inicial a solução encontrada em 4.;
6. Solução encontrada pelo Método Guloso;
7. Mrz-Gul - Solução encontrada pelo método Maranzana, usando-se como solução arbitrária inicial a solução encontrada pelo Método Guloso;
8. Misto-Mrz-Gul - A solução encontrada pelo Método Misto, usando-se como solução arbitrária inicial a solução encontrada em 7, que resulta heurística com a menor inconveniência coletiva.
9. A solução EXATA.

Tabela 14: Resumo dos Indicadores

Solução	Custo Z/1000	Varição Custo (%)	Coef. Dispersão	Varição Dispersão (%)	Dist. Media (m.)	Média Distâncias Máximas (m.)	Varição da média Dist. Max. (%)
Rede Atual	174.538		1,038		1.165	1.975	
Atual Mais Um	136.326	- 22	0.770	- 26	910	1.890	- 4
Atual Menos Um	175.751	+ 1	0.965	- 7	1.173	2.273	+ 15
Mrz-Atu	127.393	- 27	0,757	- 27	851	1.969	- 0
Misto-Mrz-Atu	121.322	- 33	0,730	- 30	810	1.865	- 6
Guloso	144.209	- 17	1,042	+ 0	963	2.057	+ 4
Mrz-Gul	142.053	- 19	1,008	- 3	948	2.164	+ 10
Misto-Mrz-Gul	117.109	- 33	0,741	- 29	782	1.927	- 2
Exato	112.711	- 35	0,655	- 37	753	2.033	+ 3

4.8.2 Análises

A análise dos resultados obtidos será realizada primeiramente por grupos de experimentos, comparando os resultados referentes à rede atual de templos.

a. Análise dos estudos da rede atual de templos

São analisados os resultados em amarelo na Tabela 14.

No estudo de Inclusão de um templo, verifica-se que a inclusão de um novo templo no Condomínio Atlântico Sul, comparada à rede atual, seria positiva em todos os aspectos, reduzindo o custo de inconveniência coletiva, tornando as regiões mais homogêneas e reduzindo a média das distâncias máximas dos fieis.

No estudo de retirada de um templo (Capela Santa Paulínia), observa-se que o aumento da inconveniência coletiva foi baixo, deduzindo-se que esse templo não é importante para o sistema atual. Com a retirada da Capela Santa Paulínia houve um ajuste das áreas de influência dos templos vizinhos, tornando a distribuição de Z mais homogênea. Entretanto, houve um aumento no indicador da média das distâncias máximas a ser percorrida pelos fieis nas regiões.

b. Análise dos estudos buscando a solução ideal dos 13 pontos (Experimentos 1..)

São analisados os resultados em azul claro na Tabela 14.

A solução *Mrz-Atu* (Experimento 1.1) também foi positiva em todos os aspectos pois, reduziu o custo de inconveniência coletiva, criou regiões mais homogêneas e diminui levemente a média das distâncias máximas dos fieis. Este resultado indica que o Maranzana conseguiu ajustar as regiões da Rede Atual.

A solução *Misto-Mrz-Atu* (Experimento 1.2) ajustou a solução anterior em todos os aspectos, reduzindo principalmente a média das distâncias máximas dos fieis.

c. **Análise dos estudos buscando a solução ideal dos 13 pontos (Experimentos 2..)**

São analisados os resultados em verde claro na Tabela 14.

A solução do método Guloso (Experimento 2.1) resultou num sistema com inconveniência coletiva menor que a rede atual, com leve aumento da taxa de dispersão e criando regiões com maior média das distâncias máximas dos fies.

A solução *Mrz-Gul* (Experimento 2.2) resultou numa pequena redução de Z e da taxa de dispersão, mas aumentou a média das distâncias máximas dos fies.

A solução *Misto-Mrz-Gul* (Experimento 2.3) conseguiu reduzir sensivelmente todos os indicadores da solução anterior, apresentando o melhor resultado entre as heurísticas aplicadas.

d. **Análise da Solução Exata**

São analisados os resultados em rosa na Tabela 14.

A solução Exata tem uma inconveniência coletiva 35 % menor que a rede atual. A solução também resulta em regiões mais homogêneas. Entretanto, a média das distâncias máximas dos fies supera em 3 % a da rede atual.

4.8.3 Conclusão das Avaliações

A Figura 9 apresenta gráficos comparativos entre os resultados dos métodos aplicados nos experimentos efetuados. São apresentadas as soluções segundo critérios de inconveniência coletiva Z, coeficiente de dispersão e média das distâncias máximas das soluções.

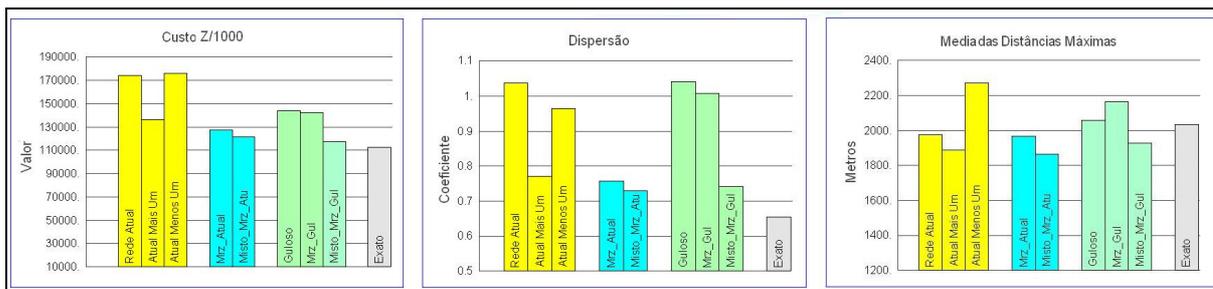


Figura 9 - Gráficos Comparativos entre os resultados dos métodos aplicados.

Concluindo a avaliação dos resultados pode-se afirmar que:

- Os resultados obtidos, com soluções próximas da solução exata, indicam que são válidas as tentativas de melhorar soluções heurísticas utilizando o Método Misto em problemas de otimização do valor da Inconveniência coletiva. A adoção da matriz de vizinhança entre setores possibilita melhorar soluções localizadas através de processos exatos, filtrando os candidatos vizinhos e eliminando buscas desnecessárias.
- As economias das soluções utilizando os Métodos Maranzana e Misto variam de acordo com o grau de economia em que se encontra a solução inicial utilizada.
- Os ganhos de inconveniência coletiva Z das soluções não obrigatoriamente implicam em resultados mais homogêneos.
- As médias das distâncias máximas das soluções não têm qualquer correlação com as inconveniências coletivas Z.

5 Conclusão

Essa dissertação buscou estudar a questão da localização dos equipamentos urbanos, de modo a favorecer os usuários e reduzir a circulação de veículos. Como estudo de caso, foi analisada a localização dos templos católicos na Barra da Tijuca e Recreio dos Bandeirantes, com o propósito de determinar uma metodologia capaz de avaliar e eventualmente otimizar a respectiva rede de templos.

O estudo se insere nos objetivos do mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental, na medida em que é capaz de otimizar recursos, melhorar a mobilidade e mitigar problemas urbanos enfrentados em regiões com acelerado processo de crescimento .

A dissertação abordou aspectos históricos, organizacionais e problemáticas da Igreja, correlacionados à estrutura territorial, tema fundamental para o estudo de redes de equipamentos.

Foi apresentada uma revisão dos problemas de localização, com breve descrição de metodologias empregadas na localização de postos de uma rede de serviços.

No que tange o estudo de caso foram realizadas simulações alocando um novo templo à rede, retirando um templo da rede e propondo pontos ótimos calculados por heurísticas existentes e por uma nova heurística testada pelo autor.

Pelos experimentos heurísticos efetuados foi possível, na melhor solução, obtida pelo método misto proposto pelo autor, conceber uma rede de templos reduzindo em 33 % o custo total do deslocamento dos fieis. Conforme a parte esquerda da Figura 8, ou gráfico de inconveniências coletivas, esse valor é apenas 4 % mais alto que o obtido pela solução exata.

O emprego de metodologias de geoprocessamento foi uma contribuição importante do estudo, pois identificou as distorções verificadas com a utilização da base de dados com setores censitários e possibilitou refinar os resultados através de funções de correção automatizada de problemas pontuais, e determinar

os vértices das regiões vizinhas candidatos nas interações do método misto, eliminando interações desnecessárias.

Os resultados devem ser interpretados como indicadores de custos de distância que, conjuntamente com outros indicadores, podem auxiliar uma tomada de decisão mais fundamentada em métodos quantitativos.

Está claro que não se considera factível o deslocamento das Igrejas e Capelas atuais para os locais encontrados. Mas uma análise detalhada dos dados e mapas poderá contribuir para ajudar a dimensionar a frequência de cultos e capacidade dos templos, em função das demandas estimadas nos modelos. Esse dimensionamento é uma função da capacidade de fieis por culto de cada igreja

O estudo também poderá ser útil para uma análise de regiões ainda em franco processo de crescimento (Av. Abelardo Bueno, conhecida como Rio 2, e Recreio dos Bandeirantes) e em regiões praticamente inexploradas, com previsão de alto crescimento num futuro próximo, como é o caso da Região das Vargens.

A metodologia empregada no estudo pode ser expandida para outras áreas e municípios do país, pois utiliza dados censitários do IBGE, disponíveis para todo o território nacional. Nas novas áreas também será possível verificar o comportamento dos algoritmos utilizados, possibilitando uma análise mais conclusiva de suas eficácias. Ao mesmo tempo a metodologia pode ser aplicada para problemas de localização em rede de outros tipos de equipamentos.

Referências Bibliográficas

- ALZAMORA, G. G. S. **Estratégias de Localização de Hubs para o Sistema Aéreo Brasileiro**, Tese de doutorado, PUC-Rio, 2013.
- ANTUNES, A. J. P. **De La Planification Optimale de L'Equipment Scolaire**. Dissertation en Sciences Appliquées, Université Catholique de Louvain, Louvain La-Neuve, Belgique 1994.
- ARQUIDIOCESE DO RIO DE JANEIRO, <http://arquidiocese.com.puc-rio.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm>, último acesso 10/2013.
- BEGUIN, H.; DECONNINK, J.; PEETERS, D. **Optimizer la localization des Ecoles Primaires: le cas de de Mouscron, Belgique**: *Revue d'Economie Regionale et Urbaine*, nº5, pp. 795-806, 1989.
- BONJARDIM, S. G. M.; ALMEIDA M. G. **Hierofanias territorializadas: a Igreja Católica em Sergipe, Brasil**; *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, ISSN (Versão impressa): 0121-215X <rcgeogra_fchborg@unal.edu.co> Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2013.
- BRÁU, L.; HERCE, M; TARRAGÓ, M. **Manual municipal de urbanismo**. Barcelona, LEUMT, Vol 2, 1980.
- BRONDANI, A. E.; FRANÇA, F. A. M.; KOPP-JR, R. V.; BOAVENTURANETTO, P. O.; JURKIEWICZ, S. **Alocação de Unidades Urbanas de Lazer por um modelo de p-Medianas**; *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento (PODES)*; Vol. 5 (2), pp. 209-223, 2013.
- CAMPOS, M. C. **O Mercado Religioso e o Crescimento dos Evangélicos na Cidade do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado em Economia na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- CEBRACE/MEC. **Planejamento de Redes Escolares: Proposta Metodológica, Rede Urbana Escolar de 10 Grau**, Brasília, 1981.
- DREZNER, Z.; HAMACHER, H. W. (editors). **Facility Location: Applications and Theory**. Springer, New York, 2014.
- FRIDMAN, F. **Freguesias do Rio de Janeiro ao final do Século XVIII**; Mneme – Revista de Humanidades. UFRN. Caicó (RN), Vol. 9 (24), (ISSN 1518-3394), 2008.
- GALVÃO, R. D.; ESPEJO, L. G. A; BOFFEY, B. **A Hierarchical Model for the Location of Perinatal Facilities in Municipality of Rio de Janeiro**. *European Journal of Operational Research*, Vol. 138, pp. 495-517, 2002.
- GIL FILHO, S. F. **Igreja Católica Romana em Curitiba (PR): Estruturas da Territorialidade sob o Pluralismo Religioso**. Revista “Ra'E Ga”, Curitiba, nº7, pp. 95-110, Editora UFPR, 2003.
- GUERRA, L. **As Influências da Lógica Mercadológica sobre as Recentes Transformações na Igreja Católica** - *Revista de Estudos da Religião* nº2, pp. 1-23 (ISSN 1677-1222), 2003.

HAKIMI S. L. **Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Median of a Graph.** *Operations Research*, Vol. 12, pp. 450-459, 1964.

IBGE, Instituto Brasileiro de Informações Geográficas, **Documentação da Base de Informações do Censo demográfico 2010 – Resultados do Universo e por Amostragem**, Rio de Janeiro, 2011.

JACOB, C. R.; HEES, D. R.; WANIEZ P. **Religião e Território no Brasil** [recurso eletrônico, 1991/2010] – Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio, (ISBN 978-85-8006-100), 2013.

LIMA, M. C. **Breve Historia da Igreja Católica no Brasil** – Rio de Janeiro, Restauro, 2001.

LIMA, R. S. **Base para uma metodologia de apoio à decisão para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes.** Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, Brasil, 2003.

LINS, I. B.; SILVA, M. P.; SILVA, A. C. C.; FERREIRA, S. G. **Projeção populacional para a cidade do Rio de Janeiro 2013-2020: uma aplicação do método $A_i B_i$.** Coleção Estudos Cariocas. IPP/Prefeitura do Rio de Janeiro, 2013.

LOBO, D. S. **Dimensionamento e Otimização Locacional de Unidades de Educação Infantil.** Tese de Doutorado, UFSC, 2003.

MARANZANA, F. **On the Location of Supply Points to Minimize Transport Costs.** *Operations Research Quarterly*, Vol. 13, pp. 261-270, 1964.

MARTINS, L. **Friedrich Ratzel através de um Prisma.** Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado UFRJ, 1993.

MOLINERO, C. M. Schools in Southhampton: **A quantitative approach to school location, closure and staffing.** *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 39(4), pp. 339-350, 1988.

NOVAES, A. G. **Sistemas Logísticos**, Editora Blücher, São Paulo, 1989.

OLIVEIRA, C. L.; BASTOS, L. C. **O uso do geoprocessamento no auxílio à tomada de decisão na alocação de serviços públicos. Estudo de caso: rede educacional de ensino do bairro Harmonia - Canoas, RS.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, pp. 5443-5450, 2007.

PHILIPS, D. T; GARCIA-DIAZ, A., **Fundamentals of Network Analysis**, Prentice-Hall Inc., 1981.

PIZZOLATO, N. D; BARROS, A. G., BARCELOS, F. B.; CANEN, A. G. **Localização de escolas públicas: Síntese de algumas linhas de experiência no Brasil.** *Pesquisa Operacional*, Vol.24, No.1, pp. 111-131, 2004.

PIZZOLATO, N. D. **A Heuristic for large-size p-median location problems with application to school location** - *Annals of Operations Research* 50, pp. 473-485, 1994.

PIZZOLATO, N. D. ; RAUPP F. M. P. ; ALZAMORA, G. **Revisão de Desafios Aplicados em Localização com Base em Modelos da p-mediana e suas Variantes;** *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento* (PODES); (ISSN 1984-3534); Vol 4 (1), pp. 13-42, 2012.

PIZZOLATO, N. D. ; SILVA, H. B. F. **The Location of Public Schools: Evaluation of Practical Experiences**, *International Transactions in Operational Research*, Vol.4, No.1, pp.13- 22, 1997.

PIZZOLATO, N. D. ; SILVA, H. B. F. **Proposta Metodológica de Localização de Escolas: Estudo do Caso de Nova Iguaçu**. *Pesquisa Operacional*, 14(2), pp. 1-13, 1993.

RAHMAN, S.U.; SMITH, D.K. **Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations**. *European Journal of Operational Research*, Vol. 123(1): pp. 437-452, 2000.

ROSENTAHL, Z. **Geografia da Religião**, UERJ/NEPEC *Revista Espaço e Cultura*, nº 7, pp. 75-80, 1999.

ROZENTAL, M; PIZZOLATO, N.D. **Location of Neighborhood Shopping Centers: A Case of Study in Rio de Janeiro, Brazil**; *Journal of the Chilean Institute of Operations Research*, JCIOR Vol. 2, pp. 1-12, 2012.

ROZENTAL, M; PIZZOLATO, N. D. **Localização de Shopping Center de Vizinhança: Estudo de Caso no Bairro da Barra da Tijuca**, Rio de Janeiro; *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento, PODES*; (ISSN 1984-3534); Vol. 1 (3), pp. 199-207, 2009.

SANTOS, C. M.; SILVA, A. L. M.; SILVA, A. N. R. **Avaliando a localização de posto de saúde em uma cidade média brasileira com auxílio de um SIG-T**. *Engenharia Civil, UM*, no.7, 2000.

SANTOS, N. **As Freguesias do Rio Antigo vistas por Noronha Santos**. (Introdução, notas e bibliografia por Paulo Berger), Rio de Janeiro: Edições O Cruzeiro, 1965.

SMITH, H. K.; HARPER, P. R.; POTTS, C. N.; THYLE, A. **Planning sustainable community health schemes in rural areas of developing countries**. *European Journal of Operational Research* Vol. 193(3), pp. 768–777, 2009.

TEIXEIRA J. C.; ANTUNES A. P. (2008). **A hierarchical location model for public facility planning**. *European Journal of Operations Research*, Vol. 185(1): 92-104, 2008

TEWARI, V. K. **Improving access to services and facilities in developing countries**. *International Regional Science Review*, Vol. 15(1): pp. 25-37, 1992.

TEWARI, V. K.; S. Jena; **High School Location Decision Making in Rural India and Location-Allocation Models**. In *Spatial Analysis and Location-Allocation Models*, eds. A. Ghosh and G. Rushton. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.

VICARIATO JACAREPAGUÁ, <http://vicariatojacarepagua.blogspot.com.br>,
último acesso 10/2013.

VIEGAS, J. M. **Short and Mid-Term Planning of an Elementary School Network in a Suburb of Lisbon**, *Sistemi Urbani*, Vol. 1, pp. 57-77, 1987.

WHITE, L. ; SMITH, H. ; CURRIE, C. **OR in developing countries: A review**.
European Journal of Operations Research, Vol. 208: pp. 1-11, 2011.

YASENOVSKIY, V. S. ; HODGSON, M. J. **Hierarchical Location-Allocation with Spatial Choice Interaction Modeling**. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 97: pp. 496-511, 2007.