

SILVIANA CIRINO

**MODELO DE P-MEDIANAS HIERÁRQUICO E
ACESSIBILIDADE: ANÁLISE DOS HOSPITAIS PÚBLICOS DE
SANTA CATARINA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientadora Profa. Mirian Buss Gonçalves, Dr.^a.

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Cirino, Silviana

Modelo de p-medianas hierárquico e acessibilidade :
análise dos hospitais públicos de Santa Catarina /
Silviana Cirino ; orientadora, Profa. Dra. Mirian Buss,
Gonçalves - Florianópolis, SC, 2016.
181 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção.

Inclui referências

1. Engenharia de Produção. 2. Modelo de p-medianas. 3.
Modelo Hierárquico. 4. Acessibilidade em sistemas de
saúde. 5. Equidade em sistemas de saúde. I. Gonçalves,
Profa. Dra. Mirian Buss, . II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção. III. Título.

Silviana Cirino

**MODELO DE P-MEDIANAS HIERÁRQUICO E
ACESSIBILIDADE: ANÁLISE DOS HOSPITAIS PÚBLICOS DE
SANTA CATARINA**

Esta Tese foi julgada adequada para a obtenção do Título de “Doutor em Engenharia de Produção”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Florianópolis, 08 de julho de 2016.

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^a. Mirian Buss Gonçalves, Dr^a.
Orientadora
Universidade Federal de Santa
Catarina

Prof. Edson Tadeu Bez, Dr.
Universidade do Vale do Itajaí

Prof. Nélio Domingues Pizzolato, Dr.
Pontifícia Universidade Católica
Rio de Janeiro

Prof. Antônio Sérgio Coelho, Dr.
Universidade Federal de Santa
Catarina

Prof^a. Márcia M. Altimari Samed, Dr^a.
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Ricardo Villarroel Dávalos, Dr.
Universidade Federal de Santa
Catarina

Este trabalho é dedicado à minha amada filha, Samara, ao meu esposo, Louis Augusto e aos meus pais, Osair e Marlene.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, professora Mirian Buss Gonçalves, pela oportunidade de iniciar e terminar o doutorado, pelo apoio, pelo incentivo e pela dedicação demonstrados durante o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço muito, professora, pelo carinho, pela atenção, pelo exemplo a ser seguido e pelo direcionamento que vai além do trabalho acadêmico.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, pelos ensinamentos, pelos questionamentos, pelas sugestões e, principalmente, por todo o apoio e motivação expressos ao longo do curso.

Ao Louis Augusto, pelo encorajamento, pelas contribuições e pelas críticas; pela parceria, na vida pessoal e profissional; pela elaboração do código de otimização. A sua experiência computacional foi primordial para a obtenção dos resultados necessários para a finalização desta tese. Esta vitória também é sua!

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, em especial à Rosimeri Maria de Souza e à Mônica Bruschi, por todo o auxílio, segurança e disponibilidade no boníssimo atendimento.

À Reitoria da Universidade Federal de Santa Catarina pelo apoio na participação em eventos.

Aos colegas do ORLAB pelo companheirismo, encorajamento e compreensão.

A todo o grupo do NPLog, em especial aos colegas Fabiana Santos Lima, Thiago Maciel Neto, Leonardo Varella e Liamara Bidinha, que fizeram parte da minha formação e que sempre estiveram ao meu lado; pelo carinho, pelo incentivo e pelas contribuições.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado sanduíche – processo nº6283-13-6.

Ao professor coorientador Eduardo Souza de Corsi pela oportunidade concedida na realização do doutorado sanduíche no Institut National des Sciences Appliquées de Rouen (INSA – Rouen), no LOFIMS – Laboratoire d’Optimisation et Flabilité en Mécanique des Structures.

Aos colegas do LOFIMS, Xingling Tang, Liu Chu, Michael Suptilla e Edson Miyaura, pelo carinho, pela acolhida e pela troca de experiências.

À Danielle Blanchard, secretária do LOFIMS, pelo auxílio, pela disponibilidade, pelo apoio e por todo o carinho dedicado durante minha permanência no INSA – Rouen.

Ao IFSC – Campus São José, pela liberação para os meus estudos, sem a qual não teria sido possível a conquista de hoje. Agradeço por todo o suporte, pessoal e material, durante a realização do doutorado.

Aos colegas de trabalho e de área do IFSC – Campus São José, pelo apoio e pelo incentivo durante o curso.

A todos os professores da banca, pela leitura do trabalho, pelos comentários e pelas sugestões dadas.

Aos meus fiéis companheiros Xenoca, Xexeu, Luna, Shakira, Moggie e Astolfo.

Aos meus familiares, em particular, aos meus pais, pelo incentivo, pelo amor e pela compreensão nos momentos de ausência. Esta conquista pertence a vocês, também. Principalmente, à Samara, a quem ofereço esta jornada.

RESUMO

A escassez de meios, na história da humanidade, sempre motivou a criação e o desenvolvimento de técnicas que melhorassem a efetividade de aplicação dos recursos. Em diversas áreas de atuação governamental é essencial saber onde posicionar as unidades de atendimento de forma a facilitar ao máximo o acesso de toda a população ao serviço. Considerando serviços de saúde, não somente valores econômicos estão envolvidos, mas principalmente a vida das pessoas. Os principais problemas envolvendo a localização de instalações de saúde incluem questões sobre planejamento de serviços, agendamento de recursos, logística, diagnóstico, tratamento e cuidados preventivos.

O trabalho versa sobre um problema de localização que tem por objetivo reduzir a distância ponderada percorrida pelos usuários para acessar uma rede hierárquica pública de serviços, mantendo o nível de acessibilidade dos usuários a patamares aceitáveis. Para tal fim, utiliza-se um modelo matemático de análise locacional que traz em seu bojo um indicador de acessibilidade para avaliar a equidade para a população, sem perder de vista a eficiência do sistema.

Propõe-se uma avaliação da rede pública do Sistema de Saúde do estado de Santa Catarina e a compara com a solução ótima do problema de p -medianas hierárquico não capacitado com demanda fixa. O indicador de acessibilidade proposto foi aplicado à distribuição de unidades de forma a permitir avaliar o grau de acessibilidade e de eficiência do sistema, e através de um algoritmo genético multiobjetivo novas e mais adequadas soluções foram produzidas e comparadas, buscando satisfazer simultaneamente equidade e eficiência.

Em suma, o estudo permite gerar subsídios para melhor avaliar os impactos da política de distribuição dos sistemas de saúde. Sua aplicação visa resultar ganhos à sociedade em termos de qualidade no serviço prestado e eficiência na aplicação dos recursos, justificando estratégias a partir dos resultados obtidos que estabeleçam uma configuração no sistema de saúde mais próxima dos interesses dos usuários.

Palavras-chave: Modelo de p -medianas. Modelo Hierárquico. Acessibilidade em sistemas de saúde. Equidade em sistemas de saúde.

ABSTRACT

The stringency of resources, in mankind's history, always had driven the creation and development of techniques that aim to the maximal effectiveness use of resources. In many areas of governmental action, it is fundamental to know where to locate healthcare units in order to ease population accessing to medical services. The main awkwardnesses about locating health facilities include planning services, scheduling, logistics, diagnosis, treatment and preventive care. Concerning health services, not only economic values are involved, but, above all things, human lives.

This work deals with a location problem which targets to curb the weighted distance traveled by users to access a public hierarchical network services, maintaining the level of accessibility within acceptable levels. For this purpose, a location mathematical model that assess equity through an accessibility indicator is applied, in order to improve efficiency meanwhile keeping accessibility to the system.

An assessment of the public health system in the state of Santa Catarina network is proposed and portrait against to the optimal solution of the fixed demand unconstrained p -median hierarchical problem. The proposed accessibility indicator had been applied to the spreading healthcare units to make possible to gauge the degree of accessibility and efficiency of the system. Last but not least a multi-objective genetic algorithm was implemented aiming to provide and compare new and appropriate solutions, which searches simultaneously satisfying equity and efficiency.

In short, this study paves ways to generate data and arguments to better assess the impacts of the distribution policy of health systems. Its application could lead gains to society in terms of quality in service and efficiency in application of resources, and justifies strategies to settle, resettle and augment the healthcare network system, directing investments to the interest of the users.

Keywords: P -Median Model. Hierarchical Model. Accessibility in Health Systems. Equity in Health Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Esquema ilustrativo do método.....	34
Figura 2.1 – Distribuição populacional do estado de Santa Catarina	40
Figura 2.2 – Mesorregiões geográficas do estado de Santa Catarina	41
Figura 2.3 – Microrregiões geográficas do estado de Santa Catarina ...	42
Figura 2.4 – Configuração das Macrorregiões de Saúde.....	44
Figura 2.5 – Configuração das Regiões de Saúde	45
Figura 5.1 – Estrutura hierárquica proposta	91
Figura 5.2 – Fluxograma de execução do Algoritmo Genético.....	99
Figura 5.3 – Etapas para a resolução do problema proposto	102
Figura 6.1 – Distribuição atual dos hospitais existentes no estado de Santa Catarina	110
Figura 6.2 – Mapa com a configuração atual e nível de acessibilidade das unidades hospitalares do estado de Santa Catarina, por nível hierárquico.....	112
Figura 6.3 – Mapa com a solução do problema de p -medianas hierárquico usando o algoritmo exato, sem distinção entre os níveis hierárquicos.....	114
Figura 6.4 – Mapa com a configuração obtida através da solução do problema pelo algoritmo exato, distinguindo os níveis hierárquicos e destacando os diversos níveis de acessibilidade.....	115
Figura 6.5 – Mapa com a solução do problema de p -medianas hierárquico usando o algoritmo genético, sem distinção entre os níveis hierárquicos.....	117
Figura 6.6 – Mapa com a configuração obtida através da solução do problema pelo algoritmo genético, distinguindo os níveis hierárquicos e destacando os diversos níveis de acessibilidade.....	118
Figura 6.8 – Destaque na Fronteira de Pareto para os valores da função objetivo e de beta obtidos na primeira etapa de resolução do problema hierárquico de localização	125
Figura 6.9 – Fronteira de Pareto para os valores da função objetivo e de beta obtidos na segunda etapa de resolução do problema hierárquico de localização.....	126
Figura 6.10 – Fronteira de Pareto para os valores da função objetivo e de beta obtidos na terceira etapa de resolução do problema hierárquico de localização	127

Figura 6.11 – Mapa com a solução do problema multiobjetivo para a localização das unidades hospitalares, sem distinção entre os níveis hierárquicos..... 128

Figura 6.12 – Mapa com a configuração obtida através da solução do problema multiobjetivo, distinguindo os níveis hierárquicos e destacando os diversos níveis de acessibilidade 130

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1 – Indicador de acessibilidade dada a configuração atual dos hospitais em SC.....	111
Tabela 6.2 – Percentual das zonas de estudo em cada faixa de acessibilidade para a configuração atual dos hospitais em SC.....	113
Tabela 6.3 – Indicador de acessibilidade para a distribuição dos hospitais em SC dada a solução exata.....	114
Tabela 6.4 – Percentual das zonas em cada faixa de acessibilidade para a distribuição dos hospitais em SC obtida através da solução exata ...	116
Tabela 6.5 – Indicador de acessibilidade para a distribuição dos hospitais em SC obtida através da solução gerada pelo AG.....	117
Tabela 6.6 – Percentual das zonas em cada faixa de acessibilidade para a distribuição dos hospitais em SC obtida através do AG.....	119
Tabela 6.7 – Comparação do percentual das zonas em cada faixa do nível de acessibilidade das unidades hospitalares em SC.....	120
Tabela 6.8 – Indicador de acessibilidade para a distribuição dos hospitais em SC obtida através do problema multiobjetivo	129
Tabela 6.9 – Comparação do percentual das zonas em cada faixa do nível de acessibilidade para os hospitais em SC	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Alguns artigos relevantes à pesquisa envolvendo localização de instalações.....	32
Quadro 2.1 – Número total de hospitais por porte em cada Macrorregião de Saúde do estado de Santa Catarina.....	52
Quadro 3.1 – Alguns indicadores de acessibilidade.....	62
Quadro 5.1 – Exemplo de hierarquia urbana.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	Algoritmo Genético
CGR	Colegiados de Gestão Regional
CNRS	Comissão Nacional de Reforma Sanitária
GLPK	<i>GNU Linear Programming Kit</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SC	Santa Catarina, estado
SUS	Sistema Único de Saúde
UTI	Unidade de Tratamento Intensivo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	23
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	23
1.2 OBJETIVOS	27
1.2.1 Objetivo geral	27
1.2.2 Objetivos específicos	27
1.3 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA	28
1.4 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA	30
1.5 CONTRIBUIÇÕES	34
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	35
2 O SISTEMA DE SAÚDE DO ESTADO DE SANTA CATARINA	37
2.1 O SISTEMA DE SAÚDE NO ESTADO DE SANTA CATARINA	39
2.1.1 Aspectos físicos do estado de Santa Catarina	39
2.1.2 Divisão territorial do estado de Santa Catarina	40
2.1.3 Características do Sistema de Saúde no estado de Santa Catarina	42
2.1.3.1 Macrorregião de Saúde do Grande Oeste	47
2.1.3.2 Macrorregião de Saúde do Meio-Oeste	47
2.1.3.3 Macrorregião de Saúde da Foz do Rio Itajaí	48
2.1.3.4 Macrorregião de Saúde do Vale do Itajaí	48
2.1.3.5 Macrorregião de Saúde da Grande Florianópolis	49
2.1.3.6 Macrorregião de Saúde do Sul	49
2.1.3.7 Macrorregião de Saúde do Nordeste	50
2.1.3.8 Macrorregião de Saúde do Planalto Norte	50
2.1.3.9 Macrorregião de Saúde da Serra Catarinense	50
3 ACESSIBILIDADE	55
3.1 DEFINIÇÃO DE ACESSIBILIDADE	56
3.2 ACESSIBILIDADE EM SAÚDE	57
3.3 INDICADORES DE ACESSIBILIDADE	59
3.4 ALGUMAS APLICAÇÕES DE INDICADORES DE ACESSIBILIDADE	63
4 PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO	67
4.1 PROBLEMAS DE P-MEDIANAS	71
4.2 PROBLEMAS DE P-CENTROS	74

4.3	PROBLEMAS DE COBERTURA DE CONJUNTOS.....	75
4.4	PROBLEMAS HIERÁRQUICOS	76
4.5	PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE SAÚDE.....	83
5	CONSTRUÇÃO DO MODELO	87
5.1	INTRODUÇÃO	87
5.2	ESTRUTURA HIERÁRQUICA DO MODELO.....	89
5.3	O INDICADOR DE ACESSIBILIDADE UTILIZADO	91
5.4	MÉTODOS APLICADOS À RESOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	93
5.4.1	Fronteira de Pareto.....	93
5.4.2	Algoritmos Genéticos.....	95
5.5	DESCRIÇÃO DO MODELO UTILIZADO PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA	99
5.5.1	O Algoritmo Genético adaptado ao problema de p-medianas.....	104
5.5.1.1	Seleção dos pais	105
5.5.1.2	Geração de novos indivíduos	105
5.5.1.3	Critério de parada.....	106
5.5.2	O Algoritmo Genético adaptado para o problema de acessibilidade.....	106
6	APLICAÇÃO DO MODELO	109
6.1	RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE P-MEDIANAS HIERÁRQUICO CLÁSSICO.....	113
6.1.1	Resolução através do algoritmo exato	113
6.1.2	Resolução através do algoritmo genético	116
6.1.3	Considerações parciais	119
6.2	RESOLUÇÃO DO PROBLEMA MULTIOBJETIVO PROPOSTO.....	123
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	133
7.1	CONCLUSÕES	133
7.2	RECOMENDAÇÕES	135
	REFERÊNCIAS.....	137
	APÊNDICE A - SOLUÇÕES GERADAS PELO PROGRAMA PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO HIERÁRQUICO MULTIOBJETIVO	149
	ANEXO A – RELAÇÃO DOS HOSPITAIS DE SANTA CATARINA POR MUNICÍPIO E PORTE.....	175

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Atender aos usuários do serviço de saúde pública no Brasil de forma eficiente e eficaz é estar de acordo com os princípios políticos baseados na equidade, onde os recursos do sistema de saúde devem ser distribuídos de forma atenta às desigualdades existentes, com o objetivo de ajustar as suas ações às necessidades de cada parcela da população; na universalidade, onde todos os cidadãos têm o direito à saúde; na igualdade; na participação da comunidade, de forma que a sociedade controle a execução da política de saúde, inclusive nos aspectos econômicos e financeiros; e na integralidade de assistência, onde o cidadão deve ser atendido em todas as suas necessidades (BRASIL, 2011). Instituições ligadas a esse setor demonstram cada vez mais preocupação no que se refere à organização da prestação dos serviços públicos de saúde existentes atualmente no país.

Consagrado pela Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 2016b) como um dos princípios norteadores do Sistema Único de Saúde (SUS), a equidade tem sido uma finalidade comum aos diferentes programas de políticas sociais, inclusive nos ligados ao setor de saúde. Minimizar a desigualdade na acessibilidade aos cuidados de saúde é justificada, pois auxilia na identificação das lacunas que devem ser fechadas, ou pelo menos reduzidas (WANG, 2012). Uma assistência médica integrada e regionalizada tem sido interesse de uma grande parcela da população brasileira.

A equidade ao acesso e à localização das unidades de saúde devem ser consideradas como itens primordiais pelos órgãos gerenciadores dos sistemas de saúde, em função de constituir aspecto fundamental para garantir atendimento à saúde para a população. É crucial que exista equilíbrio na distribuição dos recursos. É essencial um sistema de saúde universal, integral e unânime a toda a população (CUNHA; SILVA, 2010; FERREIRA, 2004; REZENDE; ALMEIDA; NOBRE, 2000; ALMEIDA; GONÇALVES, 2000; UNGLERT, 1990).

Olivier e Mossialos (2004) consideram que a equidade de acesso para aqueles em igual necessidade é o princípio mais adequado para os cuidados de saúde. As pessoas devem ter igualdade de acesso aos cuidados de saúde, desde que respeitadas as diferentes necessidades, o que pode ser alcançado quando se pensa em níveis hierárquicos de atendimento aos usuários. Nesse sentido, os hospitais tornam-se elementos cada vez mais importantes no âmbito dos sistemas de saúde

por apresentarem recursos humanos mais capacitados e uma gama maior de equipamentos (JOSEPH; BANTOCK, 1982).

A análise locacional dos sistemas de saúde é importante para avaliar a distribuição espacial desses serviços, propiciando um melhor planejamento pelos órgãos públicos responsáveis, para que os indivíduos tenham garantido o direito do acesso a esses espaços. Os usuários nem sempre levam em conta apenas a distância da unidade de saúde até a sua residência. Em muitos casos, aspectos qualitativos, como nível de serviço oferecido e opções de transporte disponíveis para chegar ao local pretendido, são relevantes na escolha.

O número de instalações e o local de cada uma delas são fatores determinantes da estrutura de uma rede de serviço de saúde (ZHANG; BERMAN; VERTER, 2009). O nível da atividade é normalmente determinado pelo número de usuários que procuram seus serviços, e as áreas onde as instalações estão localizadas não podem ser analisadas de forma independente (VERTER; LAPIERRE, 2002). Instalações de saúde pouco utilizadas e/ou mal localizadas podem resultar em um aumento na taxa de mortalidade e morbidade. Assim, a modelagem de localização de instalações assume uma importância ainda maior quando se trata da localização de sistemas de saúde (DASKIN; DEAN, 2004).

Muitos dos trabalhos dedicados à localização de unidades de prestação de serviço na literatura se restringem a encontrar uma solução ótima, em relação a um determinado modelo, e a seguir avaliam a equidade através de um indicador de acessibilidade, que serve como uma medida de comparação (WANG, 2012; CIRINO *et al.*, 2016).

Estudos que analisam a acessibilidade em sistemas de saúde são presentes na literatura, fazendo com que os pesquisadores dediquem cada vez mais atenção ao tema. Dentre eles, vale salientar Wang (2012), que apresenta uma revisão metodológica que envolve medidas, otimização e o impacto da análise da acessibilidade em sistemas de saúde. Culyer e Wagstaff (1993) exploram diferentes definições de equidade na atenção à saúde. Moonay *et al.* (1991) analisam as definições sobre equidade apresentadas em diversos artigos e indicam qual objetivo consideram mais importante em termos de políticas de saúde.

Os textos disponíveis na literatura, entretanto, até onde se teve o alcance, dispõem sobre avaliação de acessibilidade de um certo cenário, seja real ou proposto. Em outras palavras, os trabalhos versam sobre métodos de localização, encontram a solução ótima segundo um modelo, sejam lineares como *p*-medianas, *p*-centros, ou alguma outra adaptação

destes, ou não-lineares, e, a seguir, encontram e comparam a acessibilidade da configuração real e calculada.

A acessibilidade envolve uma combinação de dois elementos: a localização de destinos que se pretende alcançar em uma área e as características da rede de transportes que une os locais de origem e destino. Também se pode considerar a localização das residências, a distribuição geográfica e a intensidade das atividades econômicas. A separação física dos indivíduos no espaço urbano – distância entre eles – é apenas uma das dimensões que podem ser consideradas na análise da acessibilidade.

Para que um serviço seja considerado acessível é necessário que haja equidade nessa acessibilidade. Unglert (1990) apresenta equidade como a igualdade no acesso à saúde e deve ser provida como um direito de todo o cidadão. Para Gibbard (1982), *apud* Unglert (1990), a acessibilidade dos serviços de saúde é fator fundamental para a concretização dessa equidade. Pode ser modelada em termos de sua proximidade com clientes em potencial, como em função do tempo total necessário para o recebimento do serviço ou como uma utilidade geral (ZHANG; BERMAN; VERTER, 2009).

Essa acessibilidade deve ser garantida do ponto de vista geográfico, através da localização adequada dos serviços de saúde, distribuição espacial dos recursos e a existência de transporte; econômico, com a remoção de barreiras advindas do sistema de pagamento ou contribuição feita pelo usuário; cultural, com normas e técnicas adequadas para a população em termos de hábitos e costumes; e funcional, com a oferta de serviços adequados e oportunos que atendam à necessidade da população (CUNHA; SILVA, 2010; FERREIRA, 2004; REZENDE; ALMEIDA; NOBRE, 2000; UNGLERT, 1990).

Trabalhos qualitativos sobre acessibilidade são variados e, em geral, visam a avaliar as facilidades e/ou dificuldades de acesso a meios de transportes ou a destinos (ASSIS; JESUS, 2012; MENDES *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2012; PINTO *et al.*, 2014).

Estudos envolvendo localização de instalações de saúde são vastos na literatura. Alguns discorrem sobre modelos de localização para sistemas de saúde em geral (DASKIN; DEAN, 2004; MESTRE; OLIVEIRA; BARBOSA-PÓVOA, 2012; RAIS; VIANA, 2010; VERTER; LAPIERRE, 2002; ZHANG; BERMAN; VERTER, 2009) e outros abordam modelos de localização que consideram níveis hierárquicos (BARAY; CLIQUET, 2013; ESPEJO; GALVÃO; BOFFEY, 2003; GALVÃO; ESPEJO; BOFFEY, 2002; GALVÃO;

ESPEJO; BOFFEY, 2006; GALVÃO; NOBRE; VASCONCELLOS, 1999; LEE; LEE, 2010; NARULA, 1984).

Problemas que envolvem a localização de instalações que apresentam algum relacionamento hierárquico entre si têm sido frequentes nas mais diversas áreas, como em sistemas que oferecem serviços de atendimento, distribuição ou coleta. Destacam-se os sistemas para atendimento de saúde, sistemas de produção/distribuição de mercadorias, sistemas de atendimento bancário, sistemas de serviços postais, sistemas de distribuição de energia elétrica, dentre outros (NUNES, 2002).

Com base nesses autores, alguns problemas de pesquisa a serem explorados foram selecionados.

1. Estudos mais abrangentes envolvendo localização de instalações em cuidados de saúde.
2. Avaliação da capacidade dos usuários do sistema em alcançar a instalação para cuidados em saúde ou, no caso de serviços de emergência, a possibilidade de os profissionais atingirem os pacientes.
3. Incorporação de incertezas futuras na localização das instalações – principalmente relacionadas aos hospitais – que normalmente são difíceis ou até mesmo quase impossíveis de mudar, conforme as condições de demanda se alteram. Nesse sentido, os testes computacionais são relevantes para que cenários possam ser testados e avaliados.
4. Suposição sobre onde será atribuída a segunda unidade mais próxima para o caso de direcionar a demanda para outras unidades quando a capacidade da instalação indicada for superada.
5. Consideração de instalações com níveis hierárquicos diferentes no sistema de saúde, levando em conta, ou não, a capacidade de cada uma das unidades.
6. Investigação dos resultados que seriam obtidos se os custos com abertura das instalações variassem de acordo com as localizações das mesmas.
7. Inter-relação entre modelos de localização de instalações de saúde e indicadores de acessibilidade.

Um grande desafio com que se depara o planejamento desse setor é aquele que envolve a tomada de decisão sobre a localização e dimensão dos serviços. A localização geográfica e a dimensão desses

serviços são fatores que interferem em sua acessibilidade. Este, por sua vez, é um pré-requisito fundamental para se garantir o acesso da população à saúde.

Ao contrário dos trabalhos já desenvolvidos, que versam sobre métodos de localização, e, a seguir, avaliam a acessibilidade, na presente tese deseja-se, simultaneamente, reduzir o valor da soma das distâncias percorridas pelos utilizadores para alcançar as instalações e distribuir de forma mais equitativa o esforço para que as instalações sejam alcançadas. Uma avaliação da rede pública do Sistema de Saúde do estado de Santa Catarina é proposta.

Um indicador de acessibilidade é aplicado à distribuição de unidades de forma a permitir avaliar o grau de acessibilidade e de eficiência do sistema, e através de um algoritmo genético multiobjetivo novas e mais adequadas soluções são produzidas e comparadas, buscando satisfazer simultaneamente equidade e eficiência. A contribuição dada por esta análise e a aplicação deve revelar a praticidade e operacionalidade do modelo, demonstrando, assim, que pode ser um instrumento de avaliação de propostas alternativas para o sistema.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Esta tese tem como objetivo geral apresentar um modelo matemático e computacional para apoiar a análise locacional de sistemas de saúde que considera o *trade-off* entre equidade e eficiência em uma rede hierárquica.

1.2.2 Objetivos específicos

No intuito de atingir o objetivo geral proposto na tese, os seguintes objetivos específicos são considerados:

- ✓ identificar modelos matemáticos para a localização de instalações considerando a distribuição espacial das instalações hierárquicas, onde as quantidades de instalações em cada nível são consideradas fixas e sem restrições de capacidade;

- ✓ definir o uso de um indicador de acessibilidade que incorpore a separação espacial entre os pares origem e destino e medidas de atratividade;
- ✓ resolver o problema de localização de instalações do sistema de saúde hierárquico utilizando algoritmos exatos;
- ✓ resolver o problema de localização de instalações do sistema de saúde hierárquico proposto, tendo como objetivo simultâneo a redução da diferença entre as zonas mais acessíveis e menos acessíveis;
- ✓ aplicar o modelo sugerido, considerando o sistema de saúde público do estado de Santa Catarina;
- ✓ comparar as soluções obtidas com a distribuição espacial do sistema público de saúde existente atualmente no estado de Santa Catarina;
- ✓ analisar os resultados obtidos no intuito de gerar recomendações que possam nortear a tomada de decisão no planejamento futuro do sistema.

1.3 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa justifica-se pelo modelo que é apresentado e pela aplicação que é realizada. Questões relacionadas com a decisão sobre onde localizar e qual o melhor número de instalações de saúde para garantir um atendimento adequado aos usuários a uma certa distância são exemplos de problemas abordados pela área de pesquisa operacional aplicada à área de saúde. Técnicas e metodologias diversas de solução são fornecidas para resolvê-los.

A localização criteriosa dos serviços de saúde é essencial como aspecto operacional do conceito de equidade, e isso fica mais evidente quando se passa a considerar, por exemplo, os serviços de urgências médicas. Os modelos clássicos de análise espacial construídos a partir do conceito de distância/tempo podem ajudar a otimizar a distribuição dos serviços no espaço. O modelo a ser apresentado neste estudo considera medida de acessibilidade entre duas localidades, o tempo necessário para percorrê-las, definido na literatura como acessibilidade geográfica (TRAVASSOS; MARTINS, 2004). Não se considera, neste trabalho, acessibilidade como um conjunto de métodos que pessoas com necessidades especiais precisam para ter acesso à saúde.

O uso de conceitos da Teoria do Lugar Central deixa implícito que, para se alcançar o serviço necessário, um paciente deve se deslocar até uma instalação de saúde apropriada. Dessa forma, o sistema de serviço de saúde pode ser entendido como uma hierarquia teórica de localizações, com graus equivalentes de atuação. A distância percorrida irá variar de maneira regular, pois depende tanto da abrangência do serviço quanto das especialidades oferecidas. Essas questões têm levado ao desenvolvimento de modelos de alocação espacial em estudos voltados à saúde, tanto na área da geografia quanto de pesquisa operacional.

Narula (1984) comenta que os problemas de localização de instalações que envolvem hierarquias são maiores que os problemas de localização de instalações em um único nível. Resolver problemas que envolvem o planejamento de serviços de saúde hierárquicos se torna importante, pois o foco atual da gestão de saúde está voltado para a descentralização.

Rais e Viana (2010) comentam que definir o melhor local para instalar unidades de saúde visando maximizar a acessibilidade tem sido estudado por pesquisadores da área de pesquisa operacional. Os autores discutem também que problemas de localização aplicados aos países em desenvolvimento têm sido discutidos por diversos autores, tratando da localização de unidades móveis, banco de sangue, unidades preventivas, hospitais, entre outros.

Como o objetivo proposto para esta pesquisa é apresentar um modelo matemático e computacional para apoiar a análise locacional de sistemas de saúde que considera o *trade-off* entre equidade e eficiência em uma rede hierárquica, uma aplicação é desenvolvida para o sistema de saúde pública do estado de Santa Catarina. Três níveis de hierarquia para as unidades hospitalares são considerados, com o intuito de determinar soluções ótimas ou próximas da solução ótima, e compará-las com a distribuição espacial existente no estado em estudo. As quantidades de instalações em cada nível são consideradas fixas e sem restrições de capacidade, o que pode ser apontado como uma limitação do trabalho.

O modelo busca manter a eficiência do sistema e reduzir a diferença entre as zonas mais acessíveis das menos acessíveis, mantendo um nível aceitável de proximidade das localidades espalhadas em uma região às unidades de saúde. A tomada de decisão no planejamento futuro do sistema é norteada por testes computacionais que permitem ao administrador analisar alternativas de ação.

1.4 MÉTODOS E TÉCNICAS DE PESQUISA

Método é aqui entendido como uma observação sistemática de fenômenos reais através de uma sequência de passos, baseados em conhecimentos teóricos, que buscam explicar a causa desses fenômenos, suas correlações, aspectos não revelados a fim de propor, na maioria das vezes, melhoria ao evento observado, podendo ser classificado em método dedutivo, indutivo, descritivo e hipotético-dedutivo.

Martins (2012) classifica, quanto à natureza da pesquisa realizada, em quantitativa, qualitativa ou combinação de ambas as abordagens. Métodos quantitativos são modelos abstratos descritos por modelos matemáticos que utilizam de técnicas analíticas ou experimentais para obter soluções do sistema analisado, tendo seus resultados analisados de diversas formas no sistema. A pesquisa qualitativa, por sua vez, tem o foco no entendimento do indivíduo que está sendo estudado. Já a combinação de ambas as abordagens possibilita que a excelência de uma suavize o prejuízo da outra (MARTINS, 2012).

Quanto aos objetivos, essa pesquisa pode ser classificada em exploratória e descritiva. O presente trabalho tem esses objetivos, visto que envolve procedimentos como: a revisão bibliográfica, o mapeamento de processos e a aplicação, considerando a localização de sistemas de saúde hierárquicos, no estado de Santa Catarina, Brasil.

O método de pesquisa a ser utilizado será o de modelagem e simulação, pois pretende-se fazer uso de técnicas matemáticas para descrever o funcionamento de um sistema bem como usar técnicas computacionais para verificar a aplicabilidade do modelo matemático proposto, através de testes computacionais, que permitirão ajustes no modelo, caso necessário, bem como análise de cenários.

Para Morabito Neto e Pureza (2012) o uso de modelos permite compreender melhor o ambiente em estudo, identificando problemas, formulando estratégias e oportunidades, a fim de apoiar e sistematizar o processo de tomada de decisão. Ainda segundo os autores, esse modelo deve representar a realidade captando elementos fundamentais e ao mesmo tempo suficientemente simples, passível de tratamento por métodos e resoluções conhecidos.

Assim, a abordagem desta pesquisa é empírica normativa quantitativa, uma vez que “visa ao desenvolvimento de políticas, estratégias e ações que melhorem a situação corrente” (MORABITO NETO; PUREZA, 2012, p. 183). A abordagem de resolução de um problema sob a ótica da pesquisa operacional envolve várias fases, citadas a seguir (MORABITO NETO; PUREZA, 2012):

Etapa 1 – Definição do problema: aqui o escopo do problema em estudo, as decisões de interesse, os objetivos e o modelo conceitual foram definidos. É neste momento que a busca literária horizontal foi feita.

O referencial teórico foi inicialmente construído com base em obras ligadas aos assuntos: acessibilidade, modelos de localização e modelos hierárquicos preferencialmente ligados a sistemas de saúde. Na sequência uma pesquisa no portal de periódicos da CAPES consultando bases de dados na área de Engenharia e subárea Engenharia de Produção, incluindo bases como *Science Direct*, *Web of Science*, *Scopus*, *IEEE*, *Emerald* e *Scielo*, foi feita. A ferramenta de busca EndNoteX5 foi utilizada por possuir avançados recursos de busca que permite pesquisar por diferentes palavras-chave, e em diferentes partes dos artigos, como: título, autores, palavras-chave, resumo, corpo do artigo, dentre outros critérios.

Esta busca literária sobre os itens apresentados no referencial teórico foi feita para estabelecer condições necessárias para a construção dos conceitos. Os termos para a pesquisa foram escolhidos de forma a levar em conta critérios como: amplitude da aplicação, tipo de coordenação e abordagem utilizada. Estes termos foram pesquisados nos seguintes campos: título, palavras-chave e resumo. A busca foi feita associando as palavras-chave como, por exemplo, *location model and health services/public services/health facility/health planning/health care* ou *hierarchical model and health services/public services/health facility/health planning/health care*, ou *location model and hierarchical model*, ou *location model and accessibility* ou *hierarchical model and accessibility*, ou *health services/public services/health facility/health planning/health care and accessibility*.

Uma busca restrita aos últimos 10 anos foi realizada. Artigos citados com frequência também foram pesquisados, mesmo sendo mais antigos, por serem considerados referência sobre o assunto tratado. O Quadro 1.1 foi elaborado com base nos principais artigos localizados e utilizados neste trabalho sobre localização de instalações e sistemas de saúde, onde o tema principal abordado em cada um deles é mostrado.

Quadro 1.1 – Alguns artigos relevantes à pesquisa envolvendo localização de instalações

Artigos	Modelo de Localização	Modelo Hierárquico	Modelo de p-medianas	Cobertura de conjunto / máxima cobertura	Serviços de saúde
Baray e Cliquet (2013)	X	X	X	X	X
Calvo e Marks (1973)	X	X	X	X	X
Daskin e Dean (2004)	X		X	X	X
Daskin (2011)	X	X	X	X	
Narula (1986)	X	X		X	X
Nunes (2002)	X	X	X		X
Galvão, Espejo e Boffey (2006)	X	X			X
Espejo, Galvão e Boffey (2003)	X	X		X	
Galvão, Espejo e Boffey (2002)	X	X			X
Lee e Lee (2010)	X	X		X	
Narula (1984)	X	X	X		
Daskin (2008)	X		X	X	
Espejo e Galvão (2004)	X	X		X	
Narula e Ogbu (1985)	X	X	X		
Galvão e ReVelle (1996)	X			X	
Mestre, Oliveira e Barbosa-Póvoa (2012)	X				X
Rais e Viana (2010)	X				X
Zhang, Berman e Verter (2009)	X				X
Verter e Lapierre (2002)	X				X
Pizzolato, Raupp e Alzamora (2012)	X		X		

Etapa 2 – Construção do modelo: as informações e estimativas coletadas na primeira fase foram utilizadas para definir e avaliar o modelo matemático a ser utilizado. Nesta etapa o conhecimento gerado foi fundamental para a elaboração do referencial teórico. Uma busca literária vertical foi feita com o intuito de consolidar os conceitos necessários para embasar o modelo que será aplicado.

Etapa 3 – Solução do modelo: neste momento, métodos de resolução e algoritmos foram utilizados para resolver o modelo determinado na segunda etapa. Testes computacionais foram feitos para identificar possíveis erros e a análise das soluções obtidas foi realizada para verificar a consistência dos resultados. Para obter a solução do problema aplicado, os dados sobre a região a ser analisada foram coletados.

Etapa 4 – Validação do modelo: Nesta fase foi verificado se o modelo representa o problema real de forma adequada. Vale ressaltar que a qualidade da solução depende da precisão com que o modelo representa a realidade e da qualidade dos dados. A aplicação do modelo proposto foi feita a fim de avaliar a viabilidade do mesmo.

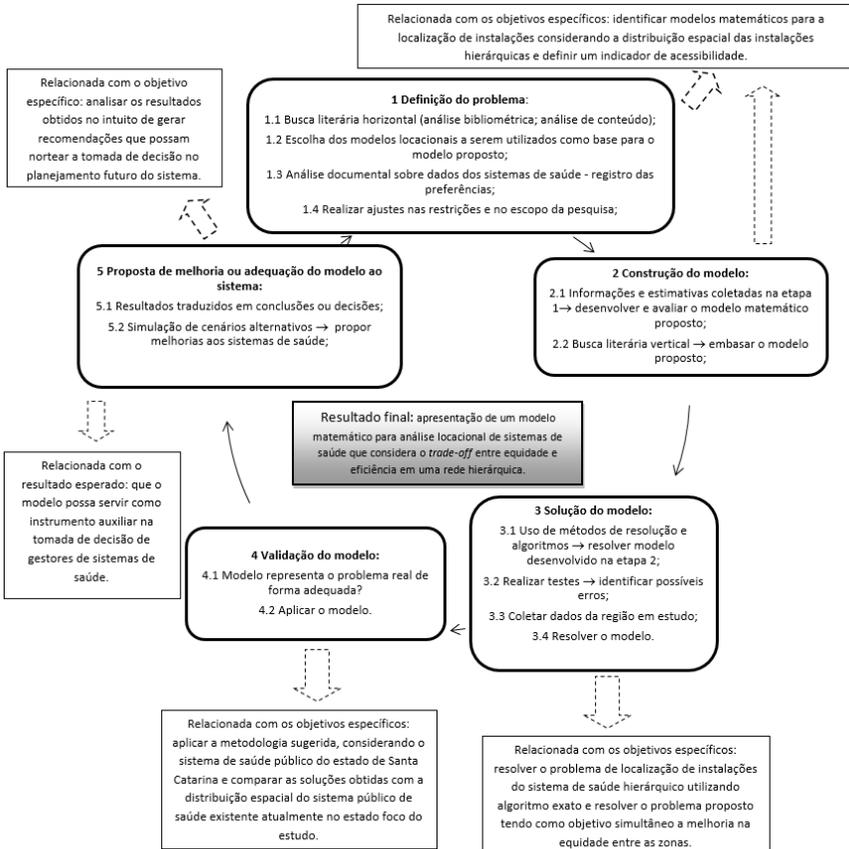
Etapa 5 – Proposta de melhoria ou adequação do modelo ao sistema: Etapa onde os resultados do modelo são traduzidos em conclusões ou decisões que os gestores dos sistemas de saúde possam transformar em ações que propiciem melhorias na área. Teste computacionais alternativos para avaliar o impacto de cada intervenção sobre a localização das instalações, bem como a análise da região coberta pelos serviços na área de estudo foram utilizados para propor melhorias ao sistema de saúde.

Para alcançar os objetivos indicados para esta pesquisa, as etapas anteriormente descritas foram desenvolvidas com base no referencial teórico construído e tendo clareza de que um modelo nem sempre é construído em um único passo. Este processo pode passar por ciclos entre as cinco etapas de execução da pesquisa.

Conforme Bertrand e Fransoo (2002), para que a Pesquisa Operacional possa ser mais efetiva, torna-se relevante que pesquisas quantitativas teóricas combinem-se com as pesquisas quantitativas empíricas, fazendo com que os modelos em estudo se aproximem dos processos operacionais reais.

O método anteriormente descrito pode ser simplificado através do esquema apresentado na Figura 1.1.

Figura 1.1 – Esquema ilustrativo do método



A Figura 1.1 foi construída com a intenção de mostrar que o método utilizado para a construção do modelo é cíclico e nem sempre é composto em uma única etapa e que o procedimento pode passar por ciclos entre as cinco fases de execução da pesquisa.

1.5 CONTRIBUIÇÕES

Do ponto de vista acadêmico, o trabalho apresenta três contribuições bem definidas. A primeira delas é o modelo apresentado para análise locacional de sistemas de saúde hierárquicos, onde a equidade para a maior parte da população é garantida nos níveis de

serviço oferecidos. A segunda contribuição diz respeito aos métodos aplicados para a resolução do problema posto. As heurísticas implementadas são capazes de representar de forma eficiente a massa de dados na qual o problema foi aplicado. Inúmeros testes computacionais podem ser realizados de forma que o gestor tenha alternativas para a avaliação e expansão do sistema. Por último, a terceira contribuição refere-se à revisão da literatura.

Pode-se esperar que a utilização do modelo apresentado neste trabalho resulte em dois ganhos à sociedade: qualidade no serviço prestado e eficiência na aplicação dos recursos, também considerado como ganho econômico, tendo em vista que testes computacionais são realizados com o intuito de avaliar os impactos da política de distribuição dos sistemas de saúde na área de estudo, tornando possíveis julgamentos acerca da questão de equidade através do uso de um indicador de acessibilidade. Dos resultados obtidos, estratégias adequadas podem ser determinadas a fim de estabelecer uma configuração no sistema de saúde mais próxima dos usuários.

O que se pretende é que o modelo possa servir como instrumento auxiliar na tomada de decisão de gestores de sistemas de saúde, permitindo ao administrador analisar alternativas de ações, e que mudanças possam ser estabelecidas para a superação de insuficiências encontradas ou minimização dos entraves. Dessa forma, espera-se que os resultados obtidos possam contribuir para que pesquisadores embasem ou aprimorem suas pesquisas, além de possibilitar ao poder público uma melhoria na política de investimento na área.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O tema-foco desta pesquisa é explorado gradativamente em sete capítulos, incluindo este introdutório, no qual expõe-se os objetivos geral e específicos, a motivação e justificativa, os métodos e técnicas de pesquisa, bem como as contribuições esperadas após a finalização da tese, com o intuito de facilitar a compreensão do leitor.

No Capítulo 2, apresenta-se um breve relato sobre os sistemas de saúde e uma explanação geral é feita, com o objetivo de apresentar a legislação em vigor e a estrutura do sistema de saúde brasileiro. Em um segundo momento, a composição e as características do sistema de saúde pública do estado de Santa Catarina são apresentadas.

No capítulo 3, o tema acessibilidade é discutido. O assunto é apresentado, seguido das diversas definições encontradas sobre a temática, de como o tema acessibilidade é tratado no que diz respeito aos

sistemas de saúde, das classificações existentes para os indicadores de acessibilidade, bem como a exposição de alguns indicadores que envolvem separação espacial encontrados na literatura e de algumas aplicações realizadas até o presente momento.

No capítulo 4 são inicialmente examinados os problemas de localização de uma forma geral, seguidos da classificação destes quanto à característica da função-objetivo, suas formulações matemáticas e as aplicações ligadas aos sistemas de saúde.

No capítulo 5, faz-se a apresentação de como o modelo foi construído, da estrutura hierárquica proposta para o sistema de saúde, foco de aplicação desta tese, do indicador de acessibilidade utilizado e dos métodos aplicados para a resolução do problema. O modelo utilizado para a resolução do problema multiobjetivo, que visa a análise locacional de sistemas de saúde considerando instalações hierárquicas e que garanta uma equidade para a maior parte da população, nos níveis de serviço oferecido, reduzindo a diferença entre as zonas mais acessíveis das menos acessíveis, é evidenciado.

No capítulo 6, os resultados obtidos da aplicação realizada do modelo no sistema de saúde do estado de Santa Catarina são expostos.

Para finalizar, as considerações finais, algumas contribuições que o estudo proporciona e algumas propostas para trabalhos vindouros são apresentados no capítulo 7.

2 O SISTEMA DE SAÚDE DO ESTADO DE SANTA CATARINA

O sistema de saúde brasileiro é considerado um sistema limitado quanto ao acesso universal e igualitário. Segundo Mendes e Caldas Jr. (2001), a partir de 1985 verifica-se o embate entre as concepções de Estado de Bem-Estar Social e de Estado Liberal. Segundo os autores, as políticas de bem-estar social promoveram importantes avanços na elaboração da proposta de Reforma Sanitária, alicerçada no princípio da saúde como direito de todos e dever do Estado. Mendes e Caldas Jr. (2001) destacam a realização da 8ª Conferência Nacional de Saúde, no ano de 1986, onde foram estruturados os princípios e as diretrizes da Reforma Sanitária e a promulgação da Constituição Federal de 1988, quando passou a vigorar o SUS, onde o acesso universal, a equidade, o controle social, a gestão única, em cada nível de governo, e a responsabilidade do Estado pela saúde do cidadão foram estabelecidos como diretrizes de organização.

Em 1985, com o fim do regime militar, lideranças do movimento sanitário assumem efetivamente posições em postos-chave nas instituições responsáveis pela política de saúde no país. Na 8ª Conferência Nacional de Saúde, em 1986, em Brasília, são lançados os princípios da Reforma Sanitária, aprovando-se a criação de um Sistema Único de Saúde, que se constituísse em um novo arcabouço institucional, com a separação total da saúde em relação à Previdência (BRASIL, 2007).

Os principais desdobramentos da 8ª Conferência Nacional de Saúde foram a constituição da Comissão Nacional de Reforma Sanitária (CNRS) e a conformação da Plenária Nacional de Saúde. A primeira foi responsável por elaborar a proposta do capítulo referente à saúde para a Constituição (SCOREL; TEIXEIRA, 2009).

As ações e os serviços públicos integram, segundo o que estabelece a Constituição Federal, uma rede regionalizada e hierarquizada, de acordo com as diretrizes de (1) descentralização, com direção única em cada esfera de governo; (2) atendimento integral, com prioridade para atividades preventivas, sem prejuízo dos serviços assistenciais e (3) participação da comunidade. O acesso aos bens e serviços essenciais é um dos fatores determinantes e condicionantes à saúde.

Com a promulgação da Lei 8.080/90, que cria o SUS, este passa a atender toda a população, independentemente de seu vínculo previdenciário, utilizando os serviços de saúde do sistema público (REZENDE; ALMEIDA; NOBRE, 2000). O SUS é constituído pelo

conjunto de ações e serviços de saúde, prestados por órgãos e instituições públicas federais, estaduais e municipais, da administração direta ou indireta e das fundações mantidas pelo poder público e tem como objetivos (Lei 8.080/90):

I – identificação e divulgação dos fatores condicionantes e determinantes da saúde;

II – formulação de política pública destinada a promover, nos campos econômico e social, a redução de riscos de doenças e de outros agravos e no estabelecimento de condições que assegurem o acesso universal e igualitário;

III – assistência às pessoas por intermédio de ações de promoção, proteção e recuperação da saúde, com a realização integrada das ações assistenciais e das atividades preventivas.

A igualdade de acesso é normalmente tratada como sendo a igualdade de oportunidade no momento da utilização do serviço de saúde. Significa dizer que indivíduos com o mesmo problema de saúde devem ter a mesma oportunidade para utilizar o serviço, bem como receber cuidado médico adequado, independentemente da sua condição social e econômica.

O acesso universal é condição fundamental para a equidade e é garantido pela gratuidade aos serviços de saúde, fazendo com que não haja barreiras econômicas restringindo o consumo. Porém, custos de transporte, de espera para atendimento, de aquisição de medicamentos, entre outros, tendem a ser maiores para os grupos de menor renda e que vivem geralmente em áreas onde a disponibilidade de serviços é restrita, o que dificulta ainda mais o acesso. Para que o funcionamento seja considerado bom, uma estratégia regional de atendimento é necessária. Assim, é possível corrigir as distorções que possam ocorrer.

Apesar dessas modificações, o acesso às unidades de saúde continua precário em muitas cidades brasileiras, gerando diminuição de sua oferta de serviços (REZENDE; ALMEIDA; NOBRE, 2000). A consolidação do SUS tem exigido dos gestores de saúde, nas diferentes esferas de governo, a identificação e definição de estratégias para resolução dos problemas de recursos humanos em saúde, indicando também a necessidade do fortalecimento das práticas de gestão nesse campo.

A descentralização político-administrativa, um dos 13 princípios do SUS, apresenta direção única em cada esfera do governo, com ênfase na descentralização dos serviços para os municípios. A regionalização e hierarquização da rede de serviços de saúde também fazem parte desses princípios. As ações e serviços de saúde, executados pelo SUS, devem

ser organizados de forma regionalizada e hierarquizada em níveis de complexidade crescente.

As ações e serviços de saúde estão organizados em redes de atenção regionalizadas e hierarquizadas, de forma a garantir o atendimento integral à população e a evitar a fragmentação das ações em saúde. O acesso deve ocorrer preferencialmente pela atenção básica, e os casos de maior complexidade devem ser encaminhados a serviços especializados, organizados de forma municipal ou regional, dependendo da demanda.

Hortale, Pedroza e Rosa (2000) concordam que a saúde do indivíduo é responsabilidade social. Sendo assim, acreditam que duas dimensões devem ser consideradas na descentralização: dimensão política – condição necessária para melhorar o acesso, a adequação da responsabilidade social, a participação, a qualidade, a sustentação e a equidade – e a dimensão social, que considera o acesso como categoria fundamental.

Uma gestão centralizada e de baixa responsabilidade em organizações públicas de saúde gera, na maioria dos casos, ineficiência. Uma gestão baseada na descentralização e participação exige dos responsáveis resultados. Um espaço de grande relevância para essa descentralização é a região de saúde.

Na seção seguinte, um panorama de como está sendo desenvolvida essa gestão descentralizada no estado de Santa Catarina é apresentado.

2.1 O SISTEMA DE SAÚDE NO ESTADO DE SANTA CATARINA

Conhecer a rede de serviços de saúde de Santa Catarina é fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, visto que a aplicação realizada foi baseada na configuração atual do sistema de saúde deste estado. Este capítulo tem por objetivo apresentar um panorama físico e geográfico do estado em estudo, bem como relatar como se dá a estrutura organizacional do sistema de saúde.

2.1.1 Aspectos físicos do estado de Santa Catarina

O estado de Santa Catarina está localizado na Região Sul do território nacional, possui extensão territorial de 95.736,165 km², abriga 6.248.436 habitantes, com densidade demográfica de 65,29 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE/Censo 2010), e o crescimento demográfico é de 1,6% ao ano. Do ponto de vista territorial, é o sétimo

menor estado do país, ocupando 1,1% do território nacional e 16,6% da Região Sul. Limita-se ao norte com o estado do Paraná, ao sul com o estado do Rio Grande do Sul, a oeste com a República Argentina e a leste com o Oceano Atlântico.

A organização político-administrativa do estado compreende 295 municípios. Florianópolis, a capital, possui população de 421.240 habitantes, considerada a segunda cidade catarinense mais populosa. Os municípios que apresentam maior concentração populacional são: Joinville (515.288), Blumenau (309.011), São José (209.804), Criciúma (192.308), Chapecó (183.530), Itajaí (183.373) e Lages (156.727) (IBGE/Censo 2010). Na Figura 2.1, o mapa de Santa Catarina é apresentado mostrando a distribuição populacional dos seus municípios. Quanto mais escuro, mais populoso é o município.

Figura 2.1 – Distribuição populacional do estado de Santa Catarina



2.1.2 Divisão territorial do estado de Santa Catarina

O estado de Santa Catarina compreende 295 municípios, separados em subdivisões geográficas denominadas mesorregiões e microrregiões, e em subdivisões administrativas, os municípios. As mesorregiões compreendem as grandes regiões do estado. Atualmente, o estado de Santa Catarina encontra-se dividido em seis mesorregiões,

sendo elas: (1) Grande Florianópolis, (2) Norte Catarinense, (3) Oeste Catarinense, (4) Planalto Serrano, (5) Sul Catarinense e (6) Vale do Itajaí, apresentadas na Figura 2.2.

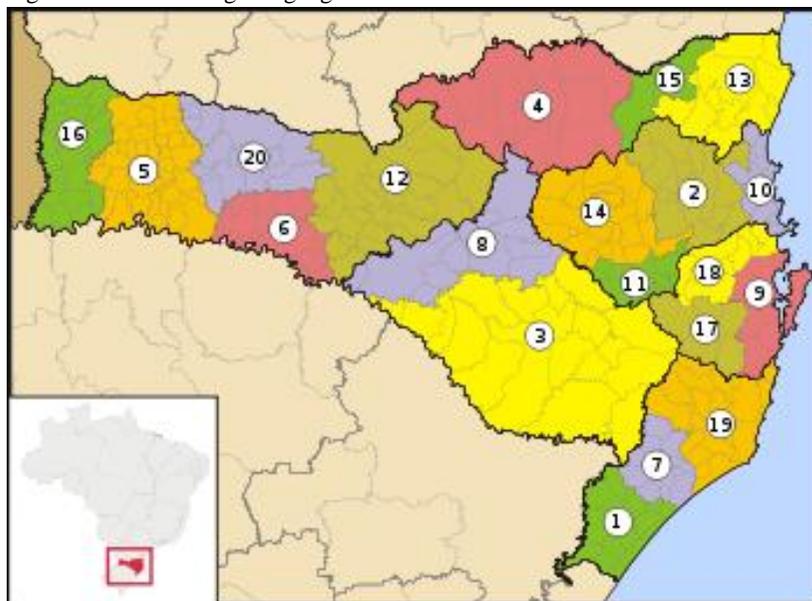
Figura 2.2 – Mesorregiões geográficas do estado de Santa Catarina



Fonte: Santa Catarina (2008).

Há, atualmente, 20 microrregiões geográficas, conforme mostrado na Figura 2.2, sendo elas: (1) Araranguá, (2) Blumenau, (3) Campos de Lages, (4) Canoinhas, (5) Chapecó, (6) Concórdia, (7) Criciúma, (8) Curitibanos, (9) Florianópolis, (10) Itajaí, (11) Ituporanga, (12) Joaçaba, (13) Joinville, (14) Rio do Sul, (15) São Bento do Sul, (16) São Miguel do Oeste, (17) Tabuleiro, (18) Tijucas, (19) Tubarão e (20) Xanxerê. O agrupamento de vários municípios que apresentam entre si características naturais – clima, relevo, vegetação, hidrografia – e atividades socioeconômicas semelhantes definem as microrregiões. Na Figura 2.3 é possível visualizar as microrregiões geográficas do estado de Santa Catarina.

Figura 2.3 – Microrregiões geográficas do estado de Santa Catarina



Fonte: Santa Catarina (2008).

2.1.3 Características do Sistema de Saúde no estado de Santa Catarina

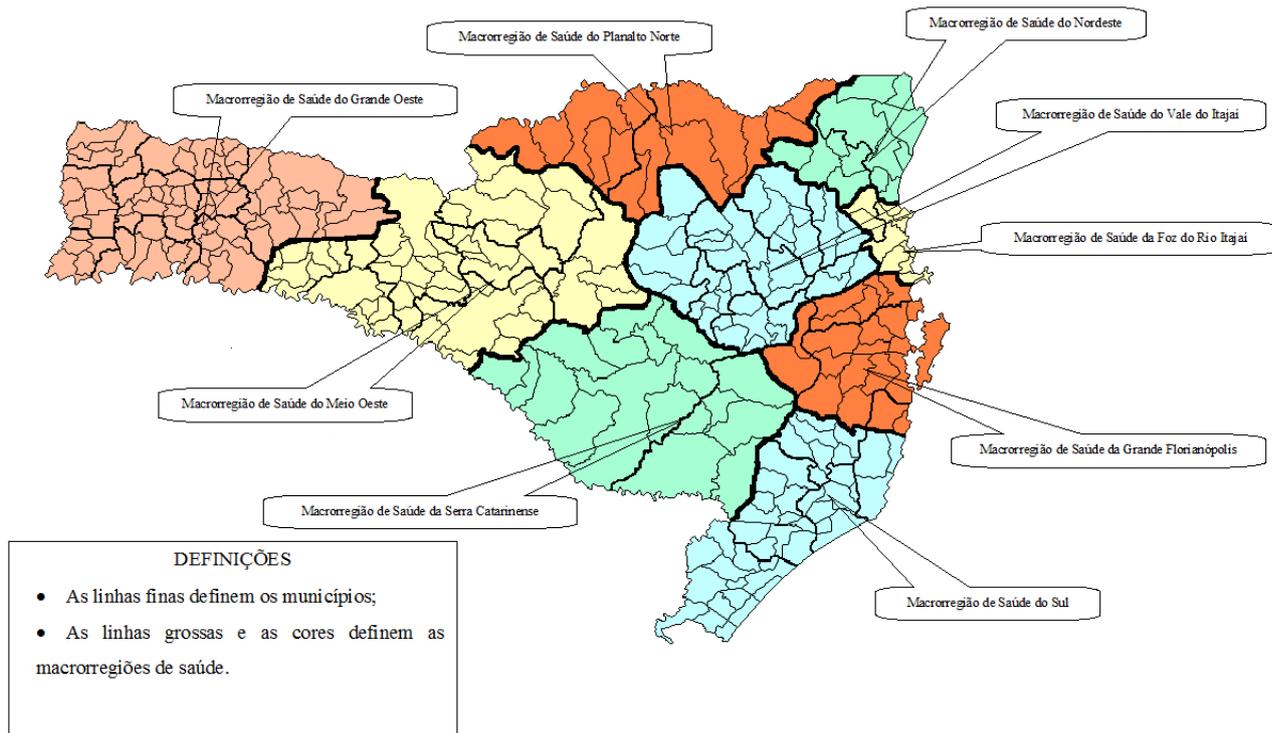
A regionalização orienta a descentralização das ações e serviços e potencializa os processos de pactuação e negociação entre gestores (SANTA CATARINA, 2012). Seu avanço depende, porém, da construção de desenhos regionais que respeitem as realidades locais, estabelecendo os Colegiados de Gestão Regional (CGRs) como espaços ativos de cogestão. Sua implementação deve exprimir as várias regiões de saúde identificadas, visando a garantia do acesso, a promoção da equidade, da integralidade, da atenção e a racionalização de gastos e otimização de recursos (SANTA CATARINA, 2012).

Objetivando a descentralização político-administrativa, o estado de Santa Catarina é caracterizado pela divisão em 35 Agências de Desenvolvimento Regional, centros de fomento de ações para o desenvolvimento da região, responsáveis por “induzir e motivar o engajamento, a integração e a participação da sociedade organizada para, de forma planejada, implementar e executar políticas públicas e viabilizar instrumentos de desenvolvimento econômico sustentável para

a geração de novas oportunidades de trabalho e renda, promovendo a equidade entre pessoas e entre regiões” (SANTA CATARINA, 2016).

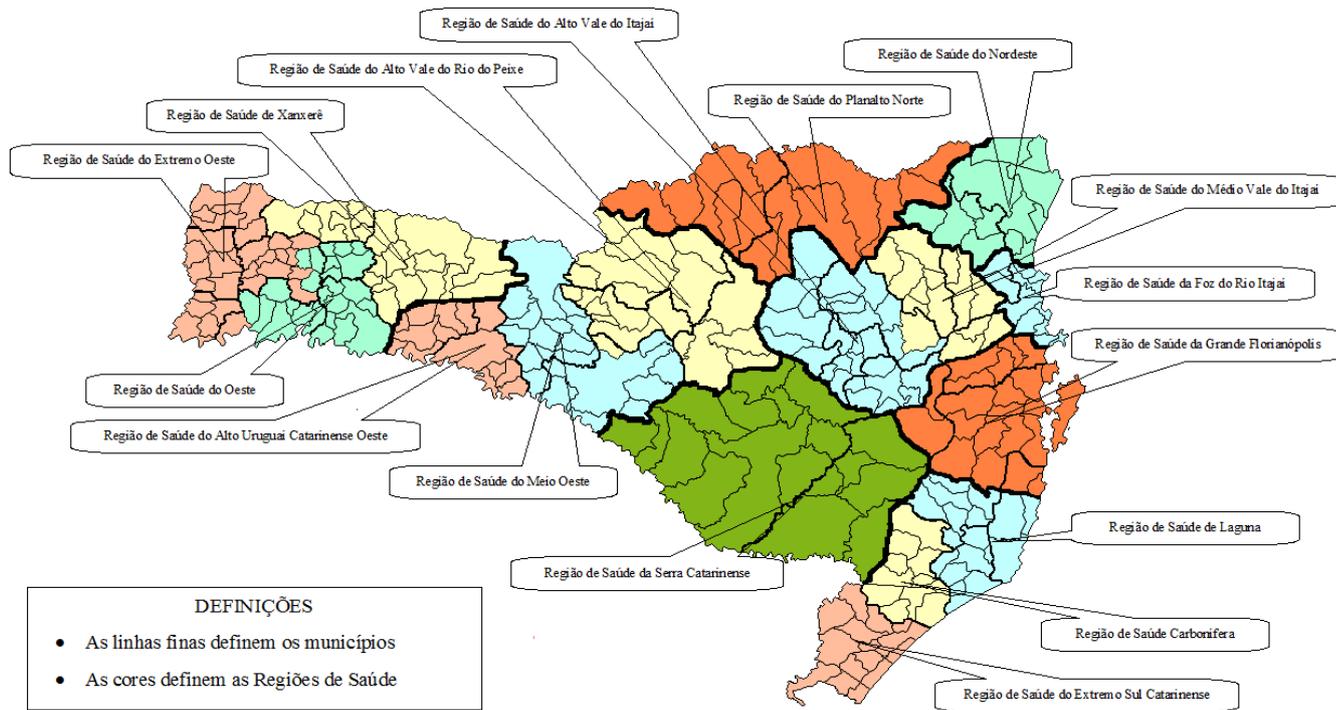
A organização gerencial e administrativa da política de saúde do estado de Santa Catarina está organizada em nove macrorregiões de saúde (SANTA CATARINA, 2012). Cada macrorregião de saúde deve ser autossuficiente em procedimentos de alta complexidade (SANTA CATARINA, 2012). A Figura 2.4 apresenta a distribuição das nove Macrorregiões de Saúde e a Figura 2.5 mostra a divisão do estado em 16 Regiões de Saúde.

Figura 2.4 – Configuração das Macrorregiões de Saúde



Fonte: Santa Catarina (2012).

Figura 2.5 – Configuração das Regiões de Saúde



Fonte: Santa Catarina (2012).

Uma Macrorregião de Saúde é formada por uma ou mais regiões de saúde, atendendo no mínimo 300.000 habitantes, organizada e estruturada para acolher parte dos serviços de média complexidade e serviços de alta complexidade ambulatorial e hospitalar (SANTA CATARINA, 2008). As macrorregiões de saúde devem oferecer aos municípios de seu alcance os grupos de procedimentos de alta complexidade que possuem suficiência, cuja demanda é rara e que exigem grande especialidade de diagnóstico. Elas podem, ainda, atuar como referência para outra macrorregião, desde que possuam capacidade instalada para esse atendimento. Uma macrorregião de saúde deve resolver, dentro da sua capacidade, os problemas encaminhados pelas Regiões de Saúde (SANTA CATARINA, 2008).

Uma Região de Saúde é uma base territorial de planejamento à saúde a ser definida pela Secretaria Estadual de Saúde, não coincidindo necessariamente com a divisão administrativa do estado. Características demográficas, socioeconômicas, geográficas, sanitárias, epidemiológicas, oferta de serviços, relações entre municípios, entre outras, podem ser consideradas para a formação dessas regiões. A região de saúde deve ser referência para uma população mínima de 100.000 habitantes e pode considerar mais de um município como referência para os demais da região (SANTA CATARINA, 2012).

As Regiões de Saúde deverão ofertar, aos municípios circunvizinhos, procedimentos de média complexidade ambulatorial e/ou hospitalar, com o intuito de resolver os problemas de saúde ligados à atenção básica. Em cada região de saúde, será identificado o município (ou municípios) que possui hospital e que atenda às quatro clínicas básicas (médica, cirúrgica, obstétrica e pediátrica) para ser considerado município-referência aos demais da região que não possuam unidade hospitalar em seu território (SANTA CATARINA, 2012). Um município é considerado referência para uma região de saúde pelos seus equipamentos urbanos e de saúde, pela força de atração sobre os demais para prestação de serviços e quando, também, os demais municípios necessitam de maior atenção (SANTA CATARINA, 2012).

A seguir, cada Macrorregião de Saúde é apresentada, bem como sua composição e população, além de cada Região de Saúde. As informações fornecidas estão baseadas no último Plano Diretor de Regionalização do Estado, de 2012 (SANTA CATARINA, 2012).

2.1.3.1 Macrorregião de Saúde do Grande Oeste

A Macrorregião de Saúde do Grande Oeste é composta por 03 (três) Regiões de Saúde. A população usada como referência é de 740.973 habitantes/2012. As Regiões de Saúde são: Região de Saúde do Extremo Oeste, Região de Saúde do Oeste e Região de Saúde de Xanxerê.

A Região de Saúde do Extremo Oeste possui uma população de referência de 224.607 habitantes/2012 e é composta por 30 municípios. São eles: Anchieta, Bandeirantes, Barra Bonita, Belmonte, Bom Jesus do Oeste, Dionísio Cerqueira, Flor do Sertão, Guaraciaba, Guarujá do Sul, Iporã do Oeste, Iraceminha, Itapiranga, Maravilha, Modelo, Mondai, Palma Sola, Paraíso, Princesa, Romelândia, Saltinho, Santa Helena, Santa Terezinha do Progresso, São João do Oeste, São José do Cedro, São Miguel da Boa Vista, São Miguel do Oeste, Saudades, Tigrinhos e Tunápolis.

A Região de Saúde de Xanxerê dispõe de uma população de referência de 190.660 habitantes/2012 e possui 21 municípios. São eles: Abelardo Luz, Bom Jesus, Campo Erê, Coronel Martins, Entre Rios, Faxinal dos Guedes, Galvão, Ipuaçú, Jupiá, Lageado Grande, Marema, Novo Horizonte, Ouro Verde, Passos Maia, Ponte Serrada, São Bernardino, São Domingos, São Lourenço do Oeste, Vargeão, Xanxerê e Xaxim.

Já a Região de Saúde do Oeste conta com uma população de referência de 325.706 habitantes/2012 e possui 25 municípios. Sendo eles: Águas de Chapecó, Águas Frias, Caibi, Caxambu do Sul, Chapecó, Cordilheira Alta, Coronel Freitas, Cunha Porã, Cunhataí, Formosa do Sul, Guatambu, Irati, Jardinópolis, Nova Erechim, Nova Itaberaba, Palmitos, Pinhalzinho, Planalto Alegre, Quilombo, Riqueza, Santiago do Sul, São Carlos, Serra Alta, Sul Brasil e União do Oeste.

2.1.3.2 Macrorregião de Saúde do Meio-Oeste

A Macrorregião de Saúde do Meio-Oeste é composta por 03 (três) Regiões de Saúde, atingindo uma população de 601.280 habitantes, composta pelas seguintes regiões: Região de Saúde do Alto Uruguai Catarinense, Região de Saúde do Meio-Oeste e Região de Saúde do Alto Vale do Rio do Peixe.

A Região de Saúde do Alto Uruguai Catarinense conta com uma população de referência de 142.634 habitantes/2012 e possui 15 municípios. São eles: Alto Bela Vista, Arubatã, Arvoredo, Concórdia,

Ipira, Ipumirim, Irani, Itá, Lindoia do Sul, Paial, Peritiba, Piratuba, Presidente Castelo Branco, Seara e Xavantina.

A Região de Saúde do Meio-Oeste atende a uma população de referência de 181.521 habitantes/2012 e possui 20 municípios. Sendo eles: Abdon Batista, Água Doce, Brunópolis, Campos Novos, Capinzal, Catanduvas, Celso Ramos, Erval Velho, Herval d'Oeste, Ibicaré, Jaborá, Joaçaba, Lacerdópolis, Luzerna, Monte Carlo, Ouro, Treze Tílias, Vargem, Vargem Bonita e Zortéa.

A Região de Saúde do Alto Vale do Rio do Peixe dispõe de uma população de referência de 277.125 habitantes/2012 e 20 municípios. São eles: Arroio Trinta, Caçador, Calmon, Curitibanos, Fraiburgo, Frei Rogério, Ibiam, Iomerê, Lebon Régis, Macieira, Matos Costa, Pinheiro Preto, Ponte Alta do Norte, Rio das Antas, Salto Veloso, Santa Cecília, São Cristóvão do Sul, Tangará. Timbó Grande e Videira.

2.1.3.3 Macrorregião de Saúde da Foz do Rio Itajaí

A Macrorregião de Saúde da Foz do Rio Itajaí é composta por 01 (uma) Região de Saúde: Região de Saúde da Foz do Rio Itajaí. Tem uma população de referência de 579.946 habitantes/2012.

A Região de Saúde da Foz do Rio Itajaí é composta por 11 (onze) municípios, sendo eles: Balneário Camboriú, Balneário Piçaras, Bombinhas, Camboriú, Ilhota, Itajaí, Itapema, Luiz Alves, Navegantes, Penha e Porto Belo.

2.1.3.4 Macrorregião de Saúde do Vale do Itajaí

A Macrorregião de Saúde do Vale do Itajaí é composta por 02 (duas) Regiões de Saúde, abrangendo 959.658 habitantes, sendo composta pelas Regiões de Saúde do Alto Vale do Itajaí e do Médio Vale do Itajaí.

A Região de Saúde do Alto Vale do Itajaí possui uma população de referência de 273.479 habitantes/2012 e possui 28 (vinte e oito) municípios. São eles: Agrolândia, Agronômica, Atalanta, Aurora, Braço do Trombudo, Chapadão do Lageado, Dona Emma, Ibirama, Imbuia, Ituporanga, José Boiteux, Laurentino, Lontras, Mirim Doce, Petrolândia, Pouso Redondo, Presidente Getúlio, Presidente Nereu, Rio do Campo, Rio do Oeste, Rio do Sul, Salete, Santa Terezinha, Taió, Trombudo Central, Vidal Ramos, Vitor Meireles e Witmarsum.

A Região de Saúde do Médio Vale do Rio Itajaí abrange uma população de referência de 686.179 habitantes/2012 e possui 14

municípios: Apiúna, Ascurra, Benedito Novo, Blumenau, Botuverá, Brusque, Doutor Pedrinho, Gaspar, Guabiruba, Indaial, Pomerode, Rio dos Cedros, Rodeio e Timbó.

2.1.3.5 Macrorregião de Saúde da Grande Florianópolis

A Macrorregião de Saúde da Grande Florianópolis é composta por 01 (uma) Região de Saúde: Região de Saúde da Grande Florianópolis, com uma população de referência de 1.041.828 habitantes.

A Região de Saúde da Grande Florianópolis é composta por 22 (vinte e dois) municípios e conta com uma população de referência de 1.041.828 habitantes. Os municípios são: Águas Mornas, Alfredo Wagner, Angelina, Anitápolis, Antônio Carlos, Biguaçu, Canelinha, Florianópolis, Garopaba, Governador Celso Ramos, Leoberto Leal, Major Gercino, Nova Trento, Palhoça, Paulo Lopes, Rancho Queimado, Santo Amaro da Imperatriz, São Bonifácio, São João Batista, São José, São Pedro de Alcântara e Tijucas.

Os municípios mais populosos da macrorregião são Florianópolis, a capital do estado, e São José. O município de São José conta com o Hospital Dr. Homero de Miranda Gomes, mais conhecido como Hospital Regional, que é um dos maiores da Grande Florianópolis. Pertencente à Rede Estadual de Centros de saúde, atende exclusivamente pelo SUS. Anexo ao hospital funciona o Instituto Estadual de Cardiologia, também administrado pela Secretaria de Saúde, unidade tida como referência no atendimento em cardiologia no estado.

2.1.3.6 Macrorregião de Saúde do Sul

A Macrorregião de Saúde do Sul é composta por 03 (três) Regiões de Saúde, com uma população de referência de 921.661 habitantes, composta pela Região de Saúde de Laguna, Região de Saúde Carbonífera e Região de Saúde do Extremo Sul Catarinense.

A Região de Saúde de Laguna abrange uma população de referência de 340.078 habitantes/2012 e possui 18 municípios, sendo eles: Armazém, Braço do Norte, Capivari de Baixo, Grão Pará, Gravatal, Imaruí, Imbituba, Jaguaruna, Laguna, Pedras Grandes, Pescaria Brava, Rio Fortuna, Sangão, Santa Rosa de Lima, São Ludgero, São Martinho, Treze de Maio e Tubarão.

A Região de Saúde Carbonífera possui uma população de referência de 397.652 habitantes/2012 e possui 12 municípios. São eles:

Balneário Rincão, Cocal do Sul, Criciúma, Forquilha, Içara, Lauro Müller, Morro da Fumaça, Nova Veneza, Orleans, Siderópolis, Treviso e Urussanga.

Já a Região de Saúde do Extremo Sul Catarinense compreende uma população de referência de 183.931 habitantes/2012 e possui 15 municípios, sendo eles: Aranguá, Balneário Arroio do Silva, Balneário Gaivota, Ermo, Jacinto Machado, Maracajá, Meleiro, Morro Grande, Passo de Torres, Praia Grande, Santa Rosa do Sul, Sombrio, Timbé do Sul e Turvo.

2.1.3.7 Macrorregião de Saúde do Nordeste

A Macrorregião de Saúde do Nordeste é composta por 01 (uma) Região de Saúde, tendo 894.286 habitantes como população de referência e é composta pela Região de Saúde Nordeste.

A Região de Saúde Nordeste possui uma população de referência de 894.286 habitantes/2012 e abrange 13 municípios. São eles: Araquari, Balneário Barra do Sul, Barra Velha, Corupá, Garuva, Guaramirim, Itapoá, Jaraguá do Sul, Joinville, Massaranduba, São Francisco do Sul, São João do Itaperiú e Schroeder.

2.1.3.8 Macrorregião de Saúde do Planalto Norte

A Macrorregião de Saúde do Planalto Norte é composta por 01 (uma) Região de Saúde, com uma população de referência de 348.495 habitantes, a Região de Saúde do Planalto Norte.

A Região de Saúde do Planalto Norte conta com uma população de referência de 357.565 habitantes/2012 e possui 13 municípios: Bela Vista do Toldo, Campo Alegre, Canoinhas, Irineópolis, Itaiópolis, Mafra, Major Vieira, Monte Castelo, Papanduva, Porto União, Rio Negrinho, São Bento do Sul e Três Barras.

2.1.3.9 Macrorregião de Saúde da Serra Catarinense

A Macrorregião de Saúde da Serra Catarinense é composta por 01 Região de Saúde, com uma população de referência de 286.089 habitantes distribuída na Região de Saúde da Serra Catarinense.

A Região de Saúde da Serra Catarinense possui uma população de referência de 286.089 habitantes/2012 e 18 municípios, sendo eles: Anita Garibaldi, Bocaina do Sul, Bom Jardim da Serra, Bom Retiro, Campo Belo do Sul, Capão Alto, Cerro Negro, Correia Pinto, Lages,

Otacílio Costa, Painel, Palmeira, Ponte Alta, Rio Rufino, São Joaquim, São José do Cerrito, Urubici e Urupema.

O fluxo de referência deve partir da base municipal responsável pela execução de serviços de atenção básica. Depois disso, o fluxo segue para a Região de Saúde onde o município de referência ofertará os procedimentos especializados, seguindo para a Macrorregião de Saúde, quando necessário. Havendo ainda necessidade, o fluxo seguirá para outra macrorregião intraestadual ou para a referência interestadual. O estado não possui suficiência em alguns serviços e, portanto, alguns procedimentos são transferidos para outros estados. Esse fluxo é apresentado em Santa Catarina (2012).

Vale salientar que nem todas as regiões e macrorregiões possuem contingente populacional suficiente ou capacidade instalada para suprir todos os grupos de procedimentos ligados à saúde, permitindo que os recursos de investimentos sejam direcionados, observando-se os parâmetros assistenciais e a política de investimentos em saúde.

Na hierarquia do Sistema Único de Saúde Brasileiro, a ação em saúde é dividida em atenção primária, secundária, terciária e, em algumas cidades do Brasil, chega-se ao nível quaternário, nível mais complexo do sistema (BRASIL, 2012). No estado de Santa Catarina, essa divisão é também utilizada. Esse estudo está voltado aos atendimentos de procedimentos de média e alta complexidade ambulatorial e/ou hospitalar.

Segundo Santa Catarina (2009), os municípios-sede da Macrorregião de Saúde deverão ofertar aos municípios de sua abrangência os grupos de procedimentos de alta complexidade para os quais possuam suficiência, cuja demanda seja menos frequente e que exijam grande especialidade e densidade tecnológica. O Quadro 2.1 identifica o número de hospitais por porte em cada macrorregião do estado de Santa Catarina. A relação completa da distribuição hospitalar por município e porte é apresentada no Anexo A.

Quadro 2.1 – Número total de hospitais por porte em cada Macrorregião de Saúde do estado de Santa Catarina

Macrorregiões de Saúde do estado de Santa Catarina	Porte hospitalar				
	I	II	III	IV	Total
Grande Oeste	32	-	1	1	34
Meio-Oeste	25	3	1	-	29
Serra Catarinense	11	1	2	-	14
Vale do Itajaí	20	2	2	1	25
Foz do Rio Itajaí	5	1	-	1	07
Planalto Norte	10	3	-	-	13
Nordeste	5	-	3	2	10
Grande Florianópolis	10	6	4	3	23
Sul	22	2	-	2	26
TOTAL	140	18	13	10	181

Fonte: Informações obtidas na Secretaria de Estado da Saúde em 2014.

Os hospitais classificados como Porte I proporcionam aos usuários atendimentos de clínica básica (clínica cirúrgica, obstétrica, médica e pediátrica), podendo fornecer um procedimento de alta complexidade, com capacidade de até 50 leitos, em nível de pronto atendimento; os de Porte II proporcionam, além dos atendimentos de clínica básica, serviços de urgência e emergência, normalmente com dois procedimentos de alta complexidade, com capacidade de até 150 leitos, podendo alguns ser de UTI; já os de Porte III e IV, são considerados referência nos procedimentos de alta complexidade para os demais hospitais, possuem capacidade superior a 150 leitos e atendem a quase todas as especialidades.

A classificação dos hospitais por porte serviu como base para a hierarquização proposta, pois é possível observar que, quanto maior o porte, maior o número de especialidades atendidas pela unidade hospitalar. O porte dos hospitais aqui listados foi utilizado para determinar os níveis hierárquicos apresentados neste trabalho.

Santa Catarina (2012) apresenta quadros sobre o fluxo da Rede Estadual de Assistência Especializada para cada Macrorregião e Região de Saúde, indicando o centro de especialidade de referência, juntamente com as habilitações em alta complexidade.

Os hospitais brasileiros estão submetidos a diferentes regimes administrativos e modelos de gestão. Braga Neto, Barbosa e Santos (2009) distinguem três grandes conjuntos de hospitais, segundo propriedade de patrimônio e normas administrativas de funcionamento. O primeiro seria o de caráter público e estatal, integrando a administração pública. O segundo é constituído no âmbito privado, mas

compõe de forma diferenciada interesses de caráter público. O terceiro é composto do âmbito privado, operado com base nas regras de mercado, podendo ou não prestar serviço para o SUS. São consideradas, neste estudo, todas as unidades hospitalares que atendem pelo SUS, sejam de caráter público e estatal ou de âmbito privado.

No processo de busca e obtenção de assistência à saúde é possível que uma parcela da população não tenha acesso aos cuidados básicos de saúde por conta da má acessibilidade geográfica. O conjunto das características que permite que o serviço seja facilmente utilizado pelos usuários é uma forma aplicada de definir acessibilidade, tema que será discutido no próximo capítulo.

3 ACESSIBILIDADE

O processo que envolve o deslocamento de pessoas é bastante complexo. A interação entre o sistema de transporte e a distribuição espacial das atividades é parte importante nesse desenvolvimento ao considerar que essas viagens ocorrem por existir uma separação espacial entre os indivíduos e as atividades das quais irão participar. Essa interação influencia nas possibilidades de acesso físico e interfere na qualidade de vida da população (ALMEIDA, 1999). Nessa circunstância, a concepção de acessibilidade está diretamente relacionada à qualidade de vida dos cidadãos, pois sua análise possibilita identificar as áreas com desigualdades na oferta de infraestrutura, de forma que a separação espacial entre o indivíduo e as atividades sociais seja reduzida.

Para analisar de forma correta o fenômeno de circulação das pessoas e sua relação com o desenvolvimento urbano, aspectos relativos à distribuição espacial das atividades, bem como características estruturais da rede de transportes, devem ser considerados (ALMEIDA, 1999). Segundo Lindemann *et al.* (1998, *apud* ALMEIDA, 1999), se esses aspectos não são considerados de forma conjunta com antecedência e têm suas consequências avaliadas em termos de planejamento, a melhoria advinda das novas medidas de intervenção pode, em pouco tempo, fracassar no seu objetivo de aumentar e facilitar a comunicação entre áreas urbanas.

O crescimento desordenado das cidades pode, muitas vezes, implicar na ausência de planejamento no que tange ao trânsito e ao transporte urbano, gerando conflitos. Muitas vezes, esses impactos são percebidos apenas quando a situação já está caótica e as medidas a serem tomadas são no sentido de remediá-los e amenizá-los (GARCIA; RAIA, 2001).

A primeira tentativa de sistematizar e formular uma teoria coerente envolvendo localização e organização social do espaço retorna a von Thünen (1826) (HARVEY, 1981). O principal objetivo da teoria de von Thünen foi determinar a relação entre as intensidades e tipos de produção agrícola e os mercados disponíveis (GRIFFIN, 1973). Autores como Shimbel (1953), Stewart e Warntz (1958) e Hansen (1959, *apud* POOLER, 1995) apresentaram as primeiras expressões para o cálculo de indicadores de acessibilidade seguidos por Savigear (1967), Stegman (1969) e Ingram (1971, *apud* POOLER, 1995) todos considerados trabalhos significativos para o desenvolvimento do assunto. Uma revisão

de alguns conceitos e aplicações de acessibilidade foi apresentada, na mesma época, por Vickerman (1974).

3.1 DEFINIÇÃO DE ACESSIBILIDADE

Não existe, na literatura, um conceito único para acessibilidade. Analisar a acessibilidade de forma quantitativa e precisa é um problema complexo, uma vez que identificar os fatores mais preponderantes que compõem um determinado modelo depende de cada caso, podendo sofrer mais influência os elementos geográficos relativos à localização dos destinos, as características das redes de transporte, os aspectos comportamentais dos usuários ou outras possíveis particularidades.

Nesse sentido, o conceito de acessibilidade é geralmente interpretado como uma medida de facilidade para superar uma separação espacial (ALLEN; LIU; SINGER, 1993) para que o indivíduo, ou grupo de indivíduos, possa exercer suas atividades fazendo o uso do sistema público de transporte existente, de acordo com as oportunidades atuais (RAIA JR.; SILVA; BRONDINO, 1997).

A definição para acessibilidade sugerida por Hansen em 1959 (HANSEN, 1959, *apud* POOLER, 1995), de “potencial de oportunidades de interação”, é interpretada de várias formas, podendo ser entendida como “a proximidade física entre dois lugares” (INGRAM, 1971, *apud* POOLER, 1995) ou como “facilidades de acesso de uma região da cidade em relação às demais considerando a atratividade de cada região e os custos de viagem” (ALMEIDA; GONÇALVES, 2000), até chegar a significados como “liberdade de escolha e ação de um indivíduo no sentido de tomar parte das diferentes atividades no seu espaço comportamental” (ALMEIDA; GONÇALVES, 2000). Na década de 1970, a acessibilidade passou também a ser vista como um conceito microeconômico em que é interpretada como “a máxima utilidade associada a um conjunto de escolhas para um dado indivíduo” (ALMEIDA, 1999).

Para Hanson (1995), *apud* Raia Jr. (2000), existem dois tipos de acessibilidade: de lugar e de pessoas. A acessibilidade de lugar pode ser vista como a facilidade com que certos lugares podem ser alcançados, e, a acessibilidade de pessoas, quando se pensa em termos das possibilidades com que uma pessoa ou um grupo de pessoas pode alcançar certos locais de atividades. A acessibilidade pode ser entendida, de um modo geral, como sendo uma medida de esforço para se transpor uma separação espacial, determinada pelas oportunidades que as pessoas

ou grupo de pessoas possuem para atingir as atividades (RAIA JR., 2000).

O conceito macroeconômico considera acessibilidade como a máxima utilidade associada a um conjunto de escolhas para um dado indivíduo (ALMEIDA, 1999). De uma forma mais aplicada, considera-se acessibilidade o conjunto de características que permitem que o serviço seja facilmente utilizado pelos usuários (NARULA, 1984). Para o escopo desta tese, limita-se acessibilidade como o conjunto de facilidades de acesso de uma região em relação às demais, considerando a atratividade de cada zona e os custos de viagem (ALMEIDA; GONÇALVES, 2000). À parte de um estudo mais minucioso sobre acessibilidade, é reconhecida na literatura a importância da avaliação da disponibilidade e da distribuição social de recursos (OLIVEIRA *et al.*, 2012), e quantificar acessibilidade é relevante nesse sentido.

3.2 ACESSIBILIDADE EM SAÚDE

Considerada um fator importante para o sucesso de programas ligados a serviços de saúde (ZHANG; BERMAN; VERTER, 2009), a acessibilidade pode ser entendida como “o grau de ajuste entre as características dos recursos de saúde e as características da população, no processo de busca e obtenção de assistência à saúde” (FERREIRA, 2004), ou ainda como “a facilidade da utilização dos serviços de saúde pelos usuários, decorrente tanto de características organizacionais dos serviços como das possibilidades dos usuários superarem as barreiras que possam existir” (CUNHA; SILVA, 2010).

No Brasil, o direito da população aos serviços de saúde e a garantia da atenção a esta foram sendo conquistados, historicamente, por movimentos sociais que culminaram com a constituição do Sistema Único de Saúde (LORA, 2004). Tais direitos, no entanto, somente serão concretizados se os usuários tiverem condições de acessibilidade a esse serviço.

Para ser um serviço acessível é necessário que haja equidade na acessibilidade. Unglert (1990) apresenta equidade como a igualdade no acesso à saúde e deve ser provida como um direito de todo o cidadão. Gibbard (1982), *apud* Unglert (1990), considera a acessibilidade dos serviços de saúde fator fundamental para a concretização da equidade. Essa acessibilidade deve ser garantida do ponto de vista geográfico, econômico, cultural e funcional (ALMEIDA; GONÇALVES, 2000; CUNHA; SILVA, 2010; FERREIRA, 2004; REZENDE; ALMEIDA; NOBRE, 2000; UNGLERT, 1990).

Das relações entre usuários e serviços de saúde, destacam-se alguns temas que dizem respeito aos princípios norteadores do Sistema Único de Saúde: acessibilidade, equidade, integralidade, beneficência e não maleficência, justiça e financiamento do sistema. O trabalho realizado por Mendes e Caldas Jr. (2001) aponta desigualdades de acesso aos serviços da rede básica de saúde por estarem mal estruturados, assim como dificuldades de acesso aos serviços de atenção secundária e terciária, especialmente em algumas áreas, explicadas por uma sobrecarga decorrente das deficiências da rede básica.

A acessibilidade envolve uma combinação de vários elementos, tais como a localização de destinos que se pretende alcançar em uma área, as características da rede de transportes que une os locais de origem e destino, a localização das residências, a distribuição geográfica e a intensidade das atividades econômicas. A separação física dos indivíduos no espaço urbano é uma das dimensões que podem ser consideradas na análise da acessibilidade.

Desse modo, a localização dos serviços de saúde pode ser considerada fundamental no aspecto operacional do conceito de equidade, de forma que se torna elemento importante quando se pretende melhorar a acessibilidade dos usuários aos serviços de saúde. Com isso, modelos clássicos de análise espacial, construídos a partir do conceito de distância/tempo, podem ajudar a aprimorar a distribuição dos serviços no espaço.

Há evidências consideráveis de que, por causa da má acessibilidade geográfica, cuidados básicos de saúde não alcançam a maioria da população nos países em desenvolvimento. Apesar da ideia de que os modelos matemáticos de análise locacional são muito sofisticados para o uso em muitos desses países, vários estudos têm demonstrado a utilidade de tais métodos no processo de tomada de decisão locacional (RAHMAN; SMITH, 2000).

Almeida (1999) afirma que estudos demonstram que a análise da variação da acessibilidade de certos segmentos populacionais urbanos às áreas com intensas atividades socioeconômicas, culturais ou recreativas constitui um procedimento valioso para se medir o impacto das intervenções sobre a rede de transportes ou sobre o sistema de serviço em estudo, de modo que o uso de indicadores de acessibilidade pode avaliar essa variação de forma quantitativa.

3.3 INDICADORES DE ACESSIBILIDADE

Indicadores de acessibilidade têm um importante papel nas áreas de análise locacional, planejamento urbano e regional, economia regional, entre outros (POOLER, 1995), e podem ser usados para avaliar a acessibilidade de diferentes categorias populacionais às atividades urbanas (ALMEIDA, 1999).

Os indicadores são utilizados para avaliar a acessibilidade dos indivíduos às atividades, de forma a sugerir estratégias nas aplicações de modelos de localização de instalações, para avaliar o nível dos serviços em alguns sistemas e para descrever a equidade espacial em ambientes urbanos ou regionais (ALMEIDA, 1999). A utilização de indicadores torna possível aumentar a eficácia na aplicação de recursos, visto que orienta o emprego destes, integrando o planejamento dos transportes e a localização dos serviços.

Os vários tipos de indicadores podem ser combinados da seguinte maneira, conforme Giannopoulos e Boulougaris (1989), *apud* Raia Jr (2000):

I. Indicadores de separação espacial – que refletem as características da separação espacial de uma rede de transportes, tais como distância; descrevem o fluxo de pessoas, mercadorias ou mensagens de uma origem i para um destino j . Geralmente a distribuição deste fluxo está baseada na potencialidade de cada origem gerar as viagens, na atratividade dos destinos e em uma medida de impedância (que representa um obstáculo que desencoraja a viagem, uma medida que avalia os efeitos contrários à realização ou ao prolongamento das viagens) aos deslocamentos entre cada par origem/destino. Como subclasse, tem-se os **indicadores do tipo gravitacional**, que são derivados dos modelos gravitacionais e são largamente utilizados em planejamento de transportes; partem da suposição de que os padrões de interação espacial são regidos por leis análogas à Lei da Gravidade, formulada por Newton em 1686: “A força da gravidade que age entre dois corpos é diretamente proporcional à massa dos dois corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles” (ALMEIDA, 1999). Ao estudar fluxos de imigrantes em 1885, Ravenstein observou que o número de pessoas que se movimentaram entre quaisquer pares de cidades parecia proporcional ao tamanho delas e inversamente proporcional à distância entre elas (CASTIGLIONI, 2009).

II. Indicadores de oportunidades – estão relacionados aos modelos de oportunidades que refletem o número de atividades

(oportunidades) que podem ser atingidas a partir de um ponto de origem; ao considerar o processo de distribuição espacial de um determinado componente (número de viagens, de residentes, trabalho etc.) com origem em uma zona i , a parte destinada a uma determinada zona j será diretamente proporcional ao número de oportunidades existentes em j e inversamente proporcional ao número de oportunidades mais acessíveis (chamadas intervenientes) a partir de i (ALMEIDA, 1999).

III. Indicadores do tipo engenharia de transportes – são mais ligados propriamente ao tráfego veicular do que com o movimento dos indivíduos. Eles explicam a facilidade de deslocamento de um veículo de um ponto a outro ao se considerar a área urbana.

IV. Indicadores baseados em abordagem desagregada/comportamental – assumem que existem algumas opções disponíveis e que o indivíduo deverá escolher apenas uma em cada tomada de decisão; assumem que cada alternativa disponível tem uma utilidade e que o sujeito escolhe a alternativa que maximiza a utilidade.

Raia Jr. (2000) elaborou uma classificação um pouco mais geral dos indicadores de acessibilidade, a partir dos estudos de diversos autores, dividindo-os em:

I. Indicadores do tipo atributos de rede – que estão relacionados com a separação espacial de pontos ou com a ligação entre pontos como resultado de suas localizações na rede. São baseados na Teoria de Grafos e compostos por nós (pontos ou locais de interesse) e arcos (ligações entre os nós). Podem ser subdivididos em outros dois grupos: indicadores simples ou topológicos e indicadores de separação espacial. Os indicadores simples ou topológicos indicam se dois pontos estão conectados fisicamente por um sistema de transporte, o que permitiria o deslocamento entre eles. Os indicadores do tipo *separação espacial* fazem com que a acessibilidade a destinos seja medida utilizando-se indicadores de separação espacial, tais como a distância entre zonas e/ou o tempo médio da viagem entre zonas, por exemplo.

II. Indicadores do tipo quantidade de viagens – consideram o custo da viagem e a probabilidade das viagens ocorrerem. Levam em conta a medição das viagens e estão associados aos aspectos de comportamento de viagem.

III. Indicadores do tipo oferta do sistema de transporte – são definidos por aspectos ligados à oferta de transportes; utilizam como parâmetros: o número de linhas que servem a zona de estudo, os assentos ofertados, número de rotas, a frequência do sistema, por exemplo.

IV. Indicadores que usam dados agregados que combinam aspectos de transporte e uso do solo – fazem parte deste grupo os indicadores derivados do modelo de Hansen, onde as oportunidades em cada zona são descontadas ou deduzidas de acordo com a dificuldade de ser alcançada, e os definidos a partir da Teoria Econômica, quando a pessoa busca a maximização da utilidade ou o benefício total em tempo ou em termos financeiros.

V. Indicadores que usam dados desagregados que combinam aspectos de transporte e uso do solo – aqueles indicadores que fazem uso de medidas de contorno, indicadores que consideram a engenharia de tráfego e os do tipo espaço-tempo, além dos que associam medidas que envolvem o conceito de mobilidade no indicador.

O cálculo dos indicadores envolve basicamente duas grandes linhas: a primeira delas abrange a separação espacial entre a origem e o destino, refletindo a facilidade da viagem considerando distância, tempo ou custo; a segunda considera, além da separação espacial, a incorporação de fatores relativos às atividades urbanas que podem ser caracterizadas por aspectos qualitativos das unidades prestadoras de serviço e podem incluir elementos relativos ao comportamento dos usuários quando da utilização das instalações ou dos diferentes modos de transporte (ALMEIDA, 1999).

Alguns índices discutidos na literatura ponderam as localidades de acordo com seu tamanho (área, densidade populacional etc.) (POOLER, 1995), como no indicador proposto por Hansen em 1959 (*apud* POOLER, 1995), no qual a acessibilidade A da localidade i varia diretamente com o tamanho S da localização j e inversamente com a separação espacial s entre i e j (POOLER, 1995).

Já Ingram (1971), *apud* Pooler (1995), apresenta o desenvolvimento de uma medida que omite a variável de tamanho, focando assim na variável de separação entre as áreas. Desse estudo – um dos trabalhos mais citados sobre o assunto nas últimas décadas – surgem também os conceitos de acessibilidade **relativa** e **integral**. De acordo com Ingram em 1971, a **acessibilidade relativa** seria definida como a medida com que dois pontos estão conectados numa mesma superfície, ou seja, como o esforço para superar a separação espacial entre dois pontos, enquanto a **acessibilidade integral** é a medida de interconexão de um ponto com todos os outros pontos na mesma superfície, se referindo ao esforço relacionado para superar a distância entre um ponto e vários outros pontos de uma área (POOLER, 1995).

Logo, pode-se interpretar que a acessibilidade integral, A_i , representa a integração da acessibilidade relativa a_{ij} entre todas as localizações j .

Depois dos trabalhos apresentados por Shimbel, Stewart-Warntz e Hansen na década de 1950, muitos estudos e pesquisas, especialmente a partir da década de 1970, vêm aumentando consideravelmente a participação e importância da noção de acessibilidade dentro do contexto do planejamento integrado entre transporte e desenvolvimento urbanos (ALMEIDA, 1999). Observa-se, na literatura, diferentes indicadores de acessibilidade, com formulações modeladas para cada situação.

No Quadro 3.1, são apresentados os indicadores de acessibilidade (de separação espacial) encontrados na literatura, de onde muitos outros foram derivados.

Quadro 3.1 – Alguns indicadores de acessibilidade

Autor(es)	Indicador	Parâmetros
Shimbel (1953)	$A_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}$	d_{ij} = menor distância entre a zona de origem i e a zona de destino j
Stewart-Warntz (1958)	$A_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n S_j s_{ij}^{-b}$	S_j = tamanho da área j s_{ij} = separação espacial entre i e j b = parâmetro a ajustar
Hansen (1959), <i>apud</i> Almeida (1999)	$A_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n S_j^{-b s_{ij}}$	S_j = tamanho da área j s_{ij} = separação espacial entre i e j b = parâmetro a ajustar
Ingram (1971), <i>apud</i> Pooler (1995)	$A_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}$	d_{ij} = distância entre os pontos i e j n = número de localidades incluídas na área de estudo
Allen, Liu e Singer (1993)	$A_i = \frac{1}{n-1} \sum_j^n C_{ij}$	C_{ij} = custo despendido para se deslocar entre as zonas i e j n = número de localidades incluídas na área de estudo
Davidson (1995), <i>apud</i> Bracarense e Ferreira (2014)	$A_i = \sum_j^n S_j \times f(C_{ij})$	S_j = medida de atratividade da zona j C_{ij} = custo despendido de viagem entre as zonas i e j f = função de impedância (exponencial ou potência) n = número de localidades incluídas na área de estudo

3.4 ALGUMAS APLICAÇÕES DE INDICADORES DE ACESSIBILIDADE

Quantificar ou mensurar a acessibilidade de maneira precisa é uma tarefa difícil, pois é necessário englobar tanto os elementos distribuídos geograficamente no espaço quanto as características dos sistemas de transporte (VICKERMAN, 1974). Entraves encontrados para coletar dados e/ou aplicar determinado indicador levam a adaptações do mesmo ou à sua eliminação na análise de um sistema ou fenômeno, fazendo com que novos indicadores sejam considerados. Envolver especialistas no momento de identificar indicadores pode ser considerado fundamental.

Dentre as aplicações dos vários indicadores de acessibilidade encontrados na literatura, cita-se:

- Black e Conroy (1977) descrevem um projeto de pesquisa que tem como objetivo quantificar a acessibilidade e viagens em áreas urbanas. Três aplicações práticas gerais foram sugeridas. Em primeiro lugar, para identificar áreas residenciais que têm relativamente pouca acessibilidade. Em segundo lugar, para monitorar as mudanças na acessibilidade que resultam do crescimento das cidades e da mudança no local de determinadas atividades. Por último, para avaliar as consequências dos planos de uso do solo/transporte alternativos para áreas metropolitanas, uma vez que podem afetar a acessibilidade dos moradores. Argumenta-se que as medidas de acessibilidade são uma ajuda útil para os planejadores e formuladores de políticas na avaliação social da estrutura urbana.

- Koenig (1980) realiza uma revisão de várias bases teóricas existentes sobre o conceito de acessibilidade e sobre os seus respectivos indicadores. O autor apresenta um quadro teórico que permite uma melhor avaliação dos indicadores de acessibilidade e sugere recomendações para sua formulação e uso prático. As relações entre a acessibilidade e a taxa de viagem são examinadas pelo autor a partir de um estudo realizado em cidades francesas, que sugere que a acessibilidade é um poderoso determinante da taxa de viagem.

- Talen e Anselin (1998) verificam a importância da metodologia para avaliar se a distribuição de serviços públicos urbanos é equitativa ou não. Os autores abordam a questão por meio de um estudo de caso empírico da distribuição espacial dos *playgrounds* em Tulsa, Oklahoma, em relação ao público-alvo (as crianças) e outros indicadores socioeconômicos. Os autores utilizaram como indicadores de acessibilidade: a contagem de instalações em uma unidade de área, uma

medida potencial baseada no modelo de gravidade, a distância média e a distância para o *playground* mais próximo. Segundo os autores, a escolha da medida de acesso implica em um tratamento especial das externalidades espaciais e também afeta as conclusões sobre a existência de incompatibilidade espacial e sobre desigualdades.

- Raia Jr. (2000) propôs integrar aspectos ligados à acessibilidade e à mobilidade de forma a estimar potenciais de viagens, visando o planejamento estratégico. Aspectos de mobilidade como renda, por exemplo, foram anexados à acessibilidade dos domicílios, através do cálculo de um indicador. A aplicação foi feita em uma cidade de médio porte. Os resultados apresentados – obtidos pelo indicador de acessibilidade que integra aspectos de mobilidade – revelaram uma superioridade em relação aos alcançados através do uso de uma medida convencional de acessibilidade adotada. Segundo o autor, a metodologia utilizada sinaliza que não basta prover a população de acessibilidade física, mas é necessário propiciar a ela meios de garantir índices melhores de mobilidade.

- Neutens *et al.* (2010) avaliam o uso de várias medidas de acessibilidade baseadas em pessoas e em lugares, no contexto da prestação de serviços públicos. As medidas baseadas em lugar examinam a separação espacial entre os locais e os serviços tendo um único local de referência, já as medidas baseadas nas pessoas são fundamentadas em observações detalhadas do cronograma de atividades e em restrições de espaço-tempo de um indivíduo. Os autores concluem que as medidas que expressam a cardinalidade de um conjunto de escolhas com oportunidades viáveis são bastante diferentes das medidas que expressam a conveniência de tal conjunto. Essa diferença também é confirmada pela medida estatística da dispersão dos valores de acessibilidade, indicando que medidas diferentes fornecem diferentes *insights* sobre como a prestação de serviços é igualmente distribuída entre a população.

- Yiannakoulis, Bland e Svenson (2013) avaliam o quanto os modelos de acessibilidade espacial são influenciados pela métrica do custo de viagens (tempo). Os autores abordam a questão através da comparação da acessibilidade espacial para médicos de atenção primária, utilizando dois métodos diferentes de cálculo do custo de viagens (no tempo). A aplicação foi realizada no Canadá.

- Mao e Nekorchuk (2013) propõem um método para incorporar diferentes modos de transporte na estimativa de acessibilidade. A aplicação foi realizada na Flórida, Estados Unidos. Os resultados sugerem que o método multimodal, pela contabilização de

heterogeneidade em populações, fornece estimativas de acessibilidade mais realistas, oferecendo assim uma melhor orientação para os decisores políticos, de maneira que os problemas de desigualdade em saúde possam ser atenuados.

- De Lima, de Andrade e Maia (2014) propuseram um indicador de qualidade locacional e um indicador de acessibilidade comparativa, que foram usados para medir o impacto causado pelo novo Complexo Industrial Portuário de Suape, em Pernambuco, considerado um território gerador de viagens. Os autores destacam a mudança na dinâmica social dos municípios que abrigaram o complexo industrial e portuário, indicando que melhorou tanto o tempo de deslocamento desses habitantes quanto a sua renda.

- Bracarense e Ferreira (2014) subdividem o conceito de acessibilidade em dois conceitos que, segundo as autoras, se complementam: a acessibilidade a destinos e a acessibilidade ao sistema de transporte; e apresentam duas tabelas com as principais definições sobre cada um deles. Propõem a formulação de um índice que permite a comparação da acessibilidade dos modos de transporte privado e coletivo, que reúne variáveis que permitem a aplicação tanto no modo privado quanto no modo coletivo, traduzindo em termos de tempo de viagem diferentes variáveis que caracterizam cada modo. Como resultado, as autoras observam que um maior valor do tempo de percurso tende a diminuir o valor do índice, enquanto a maior frequência tende a aumentá-lo, pois reduz o tempo de espera e, conseqüentemente, o tempo de viagem.

- Cirino, Gonçalves e Cursi (2014) investigaram a distribuição equitativa dos serviços de saúde entre usuários do sistema através da inserção de um indicador de acessibilidade no modelo de localização proposto. Os autores fizeram uso de uma função-objetivo que minimiza o tempo médio de viagem gasto pelos usuários, tendo como restrição a redução da diferença entre os melhores e os piores valores do indicador de acessibilidade para as sub-regiões. O trabalho teve como objetivo direcionar os recursos para aumentar o nível de acessibilidade. A aplicação foi realizada considerando a rede hospitalar da região de saúde do Vale do Itajaí, Santa Catarina. Os resultados demonstraram que a inserção do indicador de acessibilidade no modelo de localização diminuiu a disparidade existente entre as zonas de atendimento ao se avaliar o acesso aos serviços de saúde.

- Neutens (2015) discute as recentes realizações em termos de modelagem da acessibilidade e fornece uma revisão sistemática e abrangente da literatura sobre sua aplicação em estudos empíricos de

prestação de serviços de cuidados de saúde. O autor indica que há um progresso lento e modesto em termos de melhorar a precisão espacial e temporal ao medir a acessibilidade e a equidade da acessibilidade aos serviços de saúde.

- Cirino *et al.* (2016) realizaram uma análise locacional para distribuição de unidades de saúde para o estado de Santa Catarina e compararam com a implantação atual do sistema. O estudo mensurou a acessibilidade dos municípios do estado até um conjunto de unidades hospitalares mais próximas. A análise realizada serviu como ferramenta para avaliar a distribuição espacial das instalações, propiciando resultados que podem auxiliar os órgãos públicos sobre como aplicar os recursos disponíveis, de forma que a população tenha facilitado o direito ao acesso às unidades de atendimento.

Avaliar a acessibilidade ao acesso aos serviços pelos usuários está intimamente ligada à análise do local onde estes serviços estão estabelecidos. O capítulo seguinte foi construído com o propósito de apresentar os principais modelos matemáticos utilizados na localização-alocação de instalações e os que são aplicados em sistemas de saúde com maior frequência.

4 PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO

Problemas de localização de instalações tratam de encontrar o lugar “ótimo” para a implantação ou ampliação de uma determinada instalação utilizando um modelo matemático adequado. A natureza dessa instalação pode diferir em essência, podendo ter serviços emergenciais ou serviços de rotina. Os objetivos de cada tipo de serviço não são os mesmos, necessitando então de modelos matemáticos apropriados (LOBO, 2003).

Ainda segundo Lobo (2003), há registros de estudiosos que nos séculos XVII, XVIII e XIX buscavam encontrar o ponto de distância mínima até outros pontos conhecidos (LOBO, 2003). No entanto, historicamente, o estudo de problemas de localização foi iniciado por Alfred Weber, que estudou a localização de uma indústria com o objetivo de minimizar custos de transporte em relação a duas fontes de matéria-prima e um mercado consumidor (LIMA, 1996). Ele publicou seu trabalho em 1909, em alemão, que 20 anos depois foi traduzido para o inglês (LOBO, 2003). Esse tipo de problema passou a ser amplamente focalizado a partir da década de 1960, com o avanço da computação e da programação matemática (LOBO, 2003).

O tema localização sempre desfrutou de grande relevância na história humana, lutando por sua sobrevivência ao moderno, buscando vantagens econômicas e ampliação de seu bem-estar. Em outras épocas, o problema era visto de forma pontual, sendo que hoje pode ser visto de forma transtemporal e multidisciplinar (PIZZOLATO; RAUPP; ALZAMORA, 2012).

Os problemas atuais são tratados mediante modelagens baseadas em elaborações geométricas, resolvidos computacionalmente e, em geral, são de natureza econômica. Esses problemas podem ser classificados em três vertentes (PIZZOLATO; RAUPP; ALZAMORA, 2012): vertente prática – problemas assumidos por empresas de consultoria, que buscam determinar a localização ideal de uma atividade industrial e comercial; vertente acadêmica – problemas estudados com o intuito de desenvolver modelos matemáticos cada vez mais refinados; vertente aplicada – são pesquisadores que trabalham com problemas reais. Esses estudos tendem a resultar em soluções eficientes no uso de recursos disponíveis.

Um grande desafio com que se depara o planejamento é aquele que envolve a tomada de decisão sobre a localização e dimensão dos serviços. No dimensionamento de serviços (que possuam ou não caráter emergencial) existe a necessidade de determinar pontos onde devem ser

localizadas as instalações. Os critérios de otimização a serem usados para a determinação desses pontos irão depender da natureza de cada serviço, podendo ser a minimização da distância a ser percorrida até o ponto mais distante, no caso da localização de unidades do corpo de bombeiros, ou minimização do custo de transporte, no caso da localização de uma central de distribuição de mercadorias, por exemplo.

Ao analisar o contexto das políticas públicas, governos e órgãos públicos são constantemente confrontados com problemas que envolvem a questão de onde e como selecionar locais para instalações (CHO, 1998). O problema de localização de instalações tem, muitas vezes, ou geralmente, sido operacionalizado em termos de modelos de localização-alocação. Esses modelos buscam a localização ótima de centros e, ao mesmo tempo, determinam a alocação dos usuários para esses locais. Uma variedade de modelos baseados em procedimentos de locação-alocação tem se proliferado em áreas acadêmicas, tais como geografia, pesquisa operacional e planejamento regional (CHO, 1998).

Vários problemas foram aplicados à localização das instalações de cuidados médicos. Estes normalmente são formulados para determinar o sistema de unidades de saúde, de forma que critérios de planejamento, tais como minimização de distância e tempo ou maximização da demanda coberta, sejam otimizados (CHO, 1998). Esses tipos de modelos são construídos, na maioria das vezes, sob a hipótese de que os consumidores vão sempre ao serviço mais próximo de sua residência. Porém, essa regra nem sempre representa a situação real de forma satisfatória quando se trata de instalações médicas (CHO, 1998).

Cho (1998) apresenta uma modelagem de localização-alocação para a localização de instalações médicas onde uma estrutura de otimização multiobjetivo é aplicada para que parâmetros como a equidade e a eficiência do sistema sejam incorporados. A hipótese de que o usuário vai até a unidade mais próxima foi melhorada incorporando, na formulação do modelo de localização-alocação, hipóteses que envolvem os atributos das instalações, tais como o prestígio, a qualidade e o tamanho, e como estes exercem influência sobre a escolha do consumidor.

Mayhew e Leonardi (1982) descrevem a teoria e a aplicação de um conjunto de possíveis métodos para o planejamento regional de serviços de saúde. Os autores exploram quatro critérios diferentes da alocação de recursos de serviços de saúde, em nível regional e urbano, com o objetivo de que as alocações contemplem noções de equidade,

eficiência e acessibilidade. Esses critérios são ligados por um modelo de interação espacial.

A equidade é considerada por Krasnik (1996) uma questão crucial no planejamento e na avaliação dos cuidados de saúde. O autor comenta que muitas definições e critérios foram formulados com base em teorias e modelos conflitantes. Menciona ainda que três dimensões da alocação de recursos são essenciais e justas quando modelos baseados nas necessidades dos usuários são usados: a equidade no acesso, na utilização e na qualidade dos cuidados para exigências iguais. Infelizmente, esse grupo de variáveis não está nitidamente definido. Acesso, utilização e qualidade dos cuidados são conceitos complexos, contudo, mensuráveis. A definição e avaliação das prioridades torna-se necessária (KRASNIK, 1996).

Segundo Krasnik (1996), equidade em relação aos serviços de saúde implica em oportunidades iguais para acesso à saúde e à minimização das diferenças em saúde. Equidade em saúde implica que, idealmente, todos devem ter uma oportunidade justa para alcançar o pleno potencial de saúde e, mais pragmaticamente, que ninguém deve estar em desvantagem para atingir esse potencial, se isso puder ser evitado. Essa definição de equidade refere-se ao potencial dos serviços de saúde para melhorar a saúde das pessoas. É importante perceber que o conceito de equidade difere de igualdade, pois este último exige partes iguais para todos, enquanto o primeiro implica em uma distribuição justa, que pode, no entanto, prever ações diferentes.

Mayhew e Leonardi (1982) apontam a equidade, a eficiência e a acessibilidade como critérios para a alocação de recursos de serviços relacionados à saúde. A primeira é entendida como sendo a melhoria na igualdade do sistema, a segunda envolve o aumento nos benefícios dos pacientes e a terceira é percebida como sendo a equalização da distância entre a demanda e a oferta.

Os autores consideram que um sistema regional de saúde atinge uma distribuição equitativa e eficiente de recursos ao mesmo tempo, sugerindo que esses critérios sejam incluídos na modelagem como uma função que otimize dois objetivos e que permita aos tomadores de decisão testar configurações de recursos através da análise de diversos cenários. Outra forma apresentada é estruturar problemas que envolvam equidade e eficiência de forma hierárquica quando há vários níveis de serviço e uma variedade de tamanho de instalações (MAYHEW; LEONARDI, 1982).

Equidade pode ser definida como a escolha da configuração de recursos que garanta que as necessidades de cada região sejam

respeitadas. Eficiência pode ser determinada como a escolha da configuração que maximize os benefícios dos usuários de forma que suas preferências em relação ao tratamento sejam satisfeitas. Acessibilidade, por sua vez, pode ser dividida em duas direções: a primeira é optar por uma configuração de recursos que equalize os custos médios de viagens entre os locais de residência e o local de tratamento considerando o comportamento dos pacientes no momento de escolha do destino; e a segunda elege uma configuração que minimize a variação dos custos de acessibilidade dos locais de residência para os locais de tratamento, pois assim os usuários com custo muito elevado ou baixa acessibilidade podem ser contemplados (MAYHEW; LEONARDI, 1982).

Mayhew e Leonardi (1982) alegam que, na prática, embora algumas instalações novas serão implantadas no sistema, realocações podem ocorrer através de mecanismos como atualização e ampliação das instalações existentes, encerramento ou redução no tamanho das antigas instalações, ou até mesmo a redistribuição dos recursos móveis, como a mão de obra.

Tais implicações são claramente importantes e podem ocorrer após discussões detalhadas entre todos os atores do sistema, incluindo representantes dos pacientes, da equipe médica e de especialistas (MAYHEW; LEONARDI, 1982). A previsão de testes com mais de um cenário torna-se primordial para analisar a variação dos limites considerados no diagnóstico do sistema evitando-se, dessa forma, que a decisão esteja baseada em conveniências ou na visão de um único profissional ou em apenas um segmento.

Mayhew e Leonardi (1982) afirmam que apesar de todas essas complexidades, uma série de medidas, que incluem distância, distância ponderada ou tempo de viagem, provaram ser indicadores confiáveis ao longo do processo de avaliação do sistema de saúde, o que reforça o fato de que o acesso ainda é o item dominante na maioria dos casos.

Os problemas de localização são caracterizados pela natureza da função-objetivo a ser otimizada. Esses problemas são divididos em três categorias, conforme Larson e Odoni (2007), destacadas na sequência.

- ✓ Problemas de p -medianas – é uma extensão do problema de Weber (anteriormente mencionado) e o objetivo é determinar a localização de p unidades, em geral sem restrições de capacidade, de tal forma que a soma das distâncias entre estas e os n locais de demanda seja minimizada. Este modelo tem grande aplicação na localização de serviços, como é o

caso de escolas, hospitais, correios, agências bancárias etc. Seu uso se intensificou a partir dos resultados obtidos por Hakimi em 1964, o qual demonstrou que sempre é possível determinar um conjunto de medianas localizadas nos vértices da rede (GALVÃO, 1981, *apud* ALMEIDA, 1999). Atualmente, este modelo é utilizado para resolver problemas nas mais diversas áreas. São também conhecidos por problemas *minisum*.

- ✓ Problemas de *p-centros* – problemas que normalmente envolvem a localização de centros de emergência, tais como prontos-socorros, ambulâncias e estações de corpo de bombeiros. Nestes problemas, o objetivo é localizar p centros de modo que a distância (ou tempo) máxima de viagem de qualquer usuário ao centro mais próximo seja minimizada. Estes são conhecidos também como problemas *minimax*.
- ✓ Problemas de *cobertura* – nestes problemas, uma medida de performance para o sistema em estudo já é normalmente conhecida e o objetivo é minimizar o número de unidades e determinar a localização ideal destas para se obter a performance desejada. Sem dúvida, estes problemas são mais gerais do que os anteriores e podem ser aplicados tanto em problemas emergenciais quanto naqueles que não se destinam a localização de serviços de emergência.

O que se observa é que a alocação da demanda às unidades é feita de forma determinística. A técnica de alocação mais utilizada é tudo ou nada, pela qual os usuários geralmente são alocados às unidades mais próximas.

A seguir, as formulações matemáticas mais utilizadas para resolver problemas de localização são apresentadas.

4.1 PROBLEMAS DE P-MEDIANAS

O problema de p -medianas é o modelo matemático mais popular associado ao problema de localização de unidades de serviços, o qual tem como objetivo localizar p unidades de serviço (pontos para localizar instalações), de modo a minimizar a soma ponderada das distâncias dos clientes, centrados em cada vértice, às instalações disponíveis (PIZZOLATO; RAUPP; ALZAMORA, 2012). Vários métodos de

solução são encontrados na literatura para a resolução dos problemas de p -medianas.

Swersey (1994) apresenta o modelo de Reville e Swain para o problema de p -medianas usando programação linear inteira, expresso matematicamente como:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i d_{ij} x_{ij}$$

$$\text{Sujeito a } \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.1)$$

$$x_{jj} \geq x_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots, n; i \neq j \quad (4.2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = p \quad (4.3)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ ou } 1 \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.4)$$

Onde:

- ✓ w_i é o peso atribuído ao nó i ;
- ✓ $[d_{ij}]_n$ é uma matriz simétrica de custos (ou distâncias);
- ✓ x_{ij} é uma variável binária, com $x_{ij} = 1$ se o nó i está alocado à mediana j ou $x_{ij} = 0$ caso não esteja; $x_{jj} = 1$ se o nó j é uma mediana e $x_{jj} = 0$ caso contrário;
- ✓ p é um número inteiro e positivo de instalações que se deseja localizar. No caso desse modelo essas instalações são as medianas;
- ✓ n é o número de pontos considerados no problema.

Nessa formulação, tem-se que a restrição (4.1) impõe que todo ponto de demanda i deve estar alocado a uma única mediana j ; a restrição (4.2) impõe que um ponto de demanda i só pode estar alocado a um vértice j se neste vértice houver mediana; a restrição (4.3) impõe que o número total de medianas seja p ; e a restrição (4.4) impõe que as variáveis de decisão só podem assumir valores 0 ou 1.

Na prática, entretanto, sistemas que fornecem produtos ou serviços geralmente consistem de k distintos tipos de instalações ($k \geq 2$). Por exemplo, sistemas de atendimento para cuidados com saúde pré-natal, conforme Galvão, Espejo e Boffey (2002).

O modelo de p -medianas é um problema clássico e com um grande número de aplicações práticas. As primeiras formulações foram apresentadas por Hakimi (1964 e 1965). O problema é considerado *NP-hard* (GAREY; JOHNSON, 1979) – problemas para os quais não se conhecem algoritmos polinomiais capazes de obter a solução exata – para um sistema com muitos vértices.

Hörner (2009) faz uma comparação, sob os enfoques qualidade da solução e tempo de processamento, das seguintes técnicas heurísticas aplicadas ao problema das p -medianas: Busca Tabu, Algoritmo Genético, Algoritmo de Teitz-Bart e Algoritmo de Teitz-Bart Modificado. O autor indica qual ou quais as melhores técnicas associadas a diferentes tamanhos de problema.

Os modelos baseados em medianas têm sido utilizados para maximizar o acesso dos pacientes aos serviços, o que é obtido através de uma função-objetivo que minimiza a distância de viagem da demanda ponderada (MESTRE; OLIVEIRA; BARBOSA-PÓVOA, 2012), proporcionando ao público o melhor acesso possível (MURRAY; GERARD, 1997). O problema de p -medianas identifica os locais para instalação dos p serviços em uma rede de modo que a medida de distância (ou tempo) total ponderada de demanda de serviços para a sua instalação mais próxima seja minimizada (MURRAY; GERARD, 1997).

O modelo de p -medianas permite a análise de melhorias na distância ponderada percorrida, garantindo simultaneamente que um tempo de viagem máximo seja assegurado para todos os pacientes (MESTRE; OLIVEIRA; BARBOSA-PÓVOA, 2012). Esse modelo, que limita a função-objetivo à minimização de uma medida de utilidade social, com restrições que forcem o atendimento total da demanda dentro de um orçamento preestabelecido, tem tido ampla aplicação no setor público (GALVÃO; NOBRE; VASCONCELLOS, 1999).

Quando comparado com outros modelos de localização, aparecem como uma forma adequada e flexível para representar uma rede existente de hospitais e de considerar os fluxos de pacientes através dessas redes (MESTRE; OLIVEIRA; BARBOSA-PÓVOA, 2012). É um dos modelos de localização-alocação utilizados extensivamente na análise quantitativa de serviços de saúde (TLAHIG *et al.*, 2013).

4.2 PROBLEMAS DE P-CENTROS

Problemas de centros consistem em encontrar a melhor posição para a localização de um número específico de instalações. O objetivo é minimizar a distância máxima a ser percorrida até o posto de serviço.

São muito usados quando se busca instalar um serviço emergencial, seja ele em um hospital, um posto policial ou de bombeiros, uma vez que minimizam o pior caso. Em contrapartida, apresentam resultados mais onerosos, já que consideram comunidades distantes ou isoladas, por exemplo. Em países em fase de desenvolvimento, os recursos disponíveis são poucos, inviabilizando, em geral, a utilização do método.

Pesquisas apresentadas por Elloumi, Labbé e Pochet (2004), sobre a formulação e o método de resolução de problemas de p -centros, e Bell *et al.* (2011), sobre problemas de localização, foram tomadas como base para a escolha do modelo matemático aqui apresentado, escrito matematicamente da seguinte forma:

$$\text{Minimizar} \quad w = dmax$$

$$\text{Sujeito a} \quad \sum_j y_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.5)$$

$$\sum_j x_j = p \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (4.6)$$

$$y_{ij} \leq x_j \quad \forall i, j \quad (4.7)$$

$$w \geq \sum_j d_{ij} y_{ij} \quad \forall i \quad (4.8)$$

$$x_j = 0 \text{ ou } 1 \quad \forall j \quad (4.9)$$

$$y_{ij} = 0 \text{ ou } 1 \quad \forall i, j \quad (4.10)$$

Onde:

- ✓ d_{max} é a maior distância entre o nó de demanda e a instalação a qual foi alocada;
- ✓ $[d_{ij}]_n$ é uma matriz simétrica de custos (ou distâncias);
- ✓ p é o número de centros que se deseja instalar, n é o número de pontos considerados no problema;
- ✓ x_j é variável binária e será 1 se j compor a solução e 0, caso adverso;
- ✓ $y_{ij} = 1$ se o ponto de demanda i é coberto pela instalação em j ou $y_{ij} = 0$, caso contrário.

O modelo tem como objetivo minimizar a distância máxima entre os centros e as comunidades que estão em alerta, sujeito às seguintes restrições: (4.5) cada comunidade i será alocada a apenas um centro j , (4.6) o número de instalações é dado, (4.7) não é possível atribuir uma comunidade a outra que não seja um centro e (4.8) a distância máxima entre os centros e as comunidades que estão em alerta deve ser maior do que as distâncias da comunidade ao centro atribuído, (4.9) impõe que as variáveis de decisão só podem assumir valores 0 ou 1 e (4.10) a não negatividade.

4.3 PROBLEMAS DE COBERTURA DE CONJUNTOS

Os problemas de cobertura de conjuntos são uma outra forma de resolver problemas de localização de instalações. Neles, há exigências a serem respeitadas, e busca-se encontrar o menor número de instalações que cubram todos os pontos de demanda com um nível de serviço pré-determinado.

Considere um conjunto $Y_n = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ de n pontos sobre uma rede G (este conjunto pode representar, por exemplo, pontos onde a demanda é gerada). Considere também um conjunto $X_m = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ de m pontos sobre G , os quais são candidatos para a localização de um conjunto de instalações. Suponha que seja exigido que a distância máxima entre um ponto de demanda e a localização das instalações seja um dado λ . Diz-se que x_i cobre y_i se $d(x_i, y_i) \leq \lambda$ e que x_i não cobre y_i se $d(x_i, y_i) > \lambda$ (LARSON; ODONI, 2007).

A solução do problema consiste em encontrar o número mínimo K^* de pontos X_m tais que todos os pontos Y_n são cobertos. O objetivo é selecionar as instalações que cubram o conjunto de pontos da demanda,

tendo, como medida de performance, a distância crítica do serviço pré-determinada para deslocamento.

O Problema de Cobertura de Conjuntos (PCC) pode ser formulado como um problema de programação linear inteira e pode ser apresentado da seguinte forma (adaptado de LARSON e ODoni, 2007): considere um conjunto $I = \{1, 2, \dots, m\}$ de m nós de um grafo G e outro conjunto $J = \{1, 2, \dots, n\}$ de n nós, também do grafo G , candidatos para a localização das instalações. Dada uma distância de serviço λ especificada para que qualquer demanda $i \in I$ alcance as localizações $j \in J$. É definido matematicamente como:

$$\text{Minimizar } \sum_{j=1}^n w_j x_j$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.11)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \quad (4.12)$$

Nessa formulação, w_j é o custo unitário associado à variável x_j , $a_{ij} = 1$ se o ponto de demanda i é coberto por uma unidade j a menos da distância λ ou $a_{ij} = 0$, caso contrário. A restrição (4.11) garante que qualquer i será coberto por pelo menos uma instalação e a restrição (4.12) define que $x_j = 1$ se j compor a solução ou $x_j = 0$ no caso oposto.

Os modelos de cobertura são particularmente apropriados para analisar os serviços de emergência no setor de saúde, onde o tempo de resposta é crítico (DASKIN, 2008).

4.4 PROBLEMAS HIERÁRQUICOS

Um problema de localização hierárquico consiste em determinar, de forma simultânea, a combinação apropriada de níveis (ou tipos) de serviços e o local onde esses conjuntos de serviços devem ser instalados e realizar a atribuição dos pontos de demanda às instalações (ESPEJO e GALVÃO, 2004).

Na literatura, diversos modelos matemáticos são desenvolvidos para problemas de localização hierárquicos. Exemplos desses modelos podem ser encontrados em Narula e Ogbu (1985), Alminyana, Borrás e

Pastor (1998), Baray e Cliquet (2013), Galvão *et al.* (2006); Galvão, Espejo e Boffey (2006); Espejo, Galvão e Boffey (2003); Galvão, Espejo e Boffey (2002), Lee e Lee (2010), Narula (1986).

Modelos do tipo Máxima Cobertura e Cobertura de Conjunto buscam maximizar a população coberta, sujeitos a restrições de cobertura. Ver, por exemplo, Galvão e ReVelle (1996), Moore e ReVelle (1982), Gerrard e Church (1994), Branas e ReVelle (2001).

Um problema de localização-alocação com k -hierarquias pode ser estabelecido, conforme descreve Nunes (2002), como o problema de determinar as localizações-alocações para p_k instalações do tipo k , $k = 1, 2, \dots, K$ dentre n , onde $n \geq \sum_{k=1}^K p_k$ possíveis localizações de instalações, tal que um certo critério seja otimizado. O autor comenta ainda que, se as instalações possuem tipo único e o critério *minisum* é empregado, o problema de localização-alocação com k -hierarquias se reduz ao problema de p -medianas, mas se o critério *minimax* for tomado, o problema se reduz ao problema de p -centros.

Narula (1984) propôs um esquema de classificação para problemas hierárquicos, pois até então nenhum pesquisador havia utilizado o critério *minimax* para problemas com k distintos ($k \geq 2$) tipos de instalações.

Os problemas de localização hierárquicos podem ser classificados quanto à relação entre os níveis hierárquicos, quanto aos fluxos nos nós e arcos do grafo associado ao problema e quanto às capacidades das instalações.

Quanto aos níveis hierárquicos entre as instalações, podem ser classificados em: (a) instalações hierárquicas sucessivamente inclusivas e (b) instalações hierárquicas sucessivamente exclusivas (NARULA, 1984). Para Schultz em 1970 (NARULA, 1984), as instalações hierárquicas são sucessivamente inclusivas, se um tipo k de instalações ($k = 1, 2, \dots, k$) oferece serviços de ordem 1, 2, ..., k e, em um sistema de instalações hierárquicas sucessivamente exclusivas, cada instalação de tipo k é responsável por oferecer um serviço único, que não é oferecido pelas demais instalações.

Alguns sistemas educacionais, sistema de atendimento para cuidados com saúde, sistemas de serviços postais (caixas de correio, postos de atendimento, agências de correios), são exemplos de sistemas sucessivamente inclusivos. Sistemas de distribuição de energia elétrica, sistemas de telefonia, sistemas de coleta e de distribuição de postais, por exemplo, são serviços hierárquicos sucessivamente exclusivos (NUNES, 2002).

Quanto ao fluxo, que denotará o fenômeno de transporte entre os nós no grafo associado ao problema, Narula (1984) estabeleceu uma classificação de problemas de localização-alocação com k -hierarquias que considera o número dos diferentes tipos de instalações e os tipos de fluxos nos nós e arcos do grafo. Para Nunes (2002), a correspondência entre o grafo e o problema de localização-alocação com k -hierarquias é que os vértices (nós) correspondem às localizações das demandas, os pesos às magnitudes dessas demandas e os arcos que conectam os vértices às possíveis rotas de transporte.

Nunes (2002) explica que o fluxo (a viagem de um cliente para um posto de saúde, por exemplo) é definido como integrado (I) se o mesmo ocorrer de um nível k ($k = 0, 1, 2, \dots, k-1$) para um nível de instalações mais alto ($k + 1, \dots, k$). Não havendo, nesse caso, a necessidade de que uma demanda seja atendida pelo nível imediatamente superior. Igualmente, explica que o fluxo será discriminante (D) quando ocorrer de um nível de instalações k para o próximo nível $k + 1$.

Quanto ao fluxo nos nós, complementa Nunes (2002), estes são definidos como de único caminho (U) se o grau (número de arestas incidentes a um vértice) de saída de cada nó, na solução do problema, é menor ou igual a um. Se o grau de saída de pelo menos um nó do grafo for maior ou igual a dois, na solução do problema, o fluxo é dito de múltiplos caminhos (M).

Com essas definições, a classificação proposta por Narula (1984) divide os problemas em quatro grupos, designados de: (a) problemas de localização-alocação tipo $k/I/U$, (b) problemas de localização-alocação tipo $k/I/M$, (c) problemas de localização-alocação $k/D/M$ e (d) problemas de localização-alocação $k/D/U$.

- ✓ (a) *Problemas de localização-alocação tipo $k/I/U$* – o grau de saída de cada nó é menor ou igual a um, e o fluxo ocorre de uma instalação do tipo k para uma instalação qualquer de nível mais alto $k + 1, \dots, K$, na rede que representa a solução para este problema. É a classe dos problemas hierárquicos sucessivamente inclusivos. Podem ser chamados de problemas de localização de medianas com k -hierarquias em um grafo direcionado integrado de único caminho (NUNES, 2002);
- ✓ (b) *Problemas de localização-alocação tipo $k/I/M$* – o grau de saída de pelo menos um nó é maior ou igual a dois e o fluxo ocorre de uma instalação do tipo k para uma instalação

qualquer de nível mais alto $k + 1, \dots, K$, na rede de solução que simula este problema. Também é a classificação sugerida nos problemas com instalações hierárquicas sucessivamente inclusivas. Nunes (2002) comenta que podem ser chamados de problemas de localização de medianas com k -hierarquias em um grafo direcionado integrado de múltiplos caminhos;

- ✓ (c) *Problemas de localização-alocação $k/D/M$* – esta classe de problemas de localização-alocação é sugerida principalmente para problemas com instalações hierárquicas sucessivamente exclusivas e o grau de saída de pelo menos um nó é maior ou igual a dois e o fluxo ocorre de uma instalação do tipo k ($0, 1, \dots, K-1$) para uma instalação do grau seguinte $k + 1$, na rede que representa uma solução deste problema. Para Nunes (2002), podem ser chamados de problemas de localização de medianas com k -hierarquias, em um grafo direcionado discriminante de múltiplos caminhos;
- ✓ (d) *Problemas de localização-alocação $k/D/U$* – nesta classe o grau de saída de todos os nós é menor ou igual a um e o fluxo ocorre de uma instalação do tipo k ($0, 1, \dots, K - 1$) para uma instalação do grau seguinte $k + 1$ na rede que representa uma solução para este tipo de problema e também é sugerida para representar problemas com instalações hierárquicas sucessivamente exclusivas. Estes problemas podem ser chamados de problemas de localização de medianas com k -hierarquias em um grafo direcionado discriminante de caminho único (NUNES, 2002).

Quanto ao tipo de capacitação das instalações, podem ser classificadas como problemas com instalações capacitadas, não capacitadas e mistas. Nas instalações capacitadas, as capacidades das instalações em todos os níveis hierárquicos são consideradas. Nas instalações não capacitadas, as capacidades do problema analisado são consideradas ilimitadas, ou seja, as capacidades não são consideradas em nenhum dos níveis hierárquicos. Já na categoria mista, estão incluídos problemas que possuem alguns níveis com instalações capacitadas e outros com instalações não capacitadas.

Duas formas distintas de tratar os problemas envolvendo instalações hierárquicas foram encontradas na literatura, aqui classificadas como problemas hierárquicos com resolução direta e problemas hierárquicos com resolução em etapas.

Por problemas hierárquicos com resolução direta entende-se aqueles problemas cuja modelagem matemática envolvida prevê a localização de todas as instalações (nos k níveis hierárquicos considerados) em um único procedimento. Podem ter como objetivo (a) minimizar a distância total ponderada percorrida até as instalações ou (b) maximizar a população coberta a menos de uma distância de serviço crítica (MOORE; REVELLE, 1982).

Das técnicas encontradas na literatura para resolver os problemas de localização de instalações, considerando os níveis hierárquicos, destacam-se, para métodos exatos, as que envolvem métodos baseados em relaxação Lagrangeana, relaxação da programação inteira, procedimentos de busca em árvore como o *branch-and-bound* e o *branch-and-cut*; algumas heurísticas, que resolvem problemas de grande porte em tempo viável e encontrando uma solução satisfatória, tais como o método guloso, o algoritmo Teitz e Bart e suas variações; ou ainda meta-heurísticas, como os Algoritmos Genéticos, Busca Tabu, *Simulated Annealing*, entre outras (NUNES, 2002; HÖRNER, 2009).

Baseado no trabalho de Calvo e Marks (1973), o seguinte modelo matemático é apresentado para o problema de p -medianas hierárquico, com resolução direta, generalizado para k níveis de instalações. Nesta formulação p_k , unidades de serviços de nível k são alocadas entre n localizações, tal que a distância média ponderada, entre as unidades de serviços e as localizações, usando um peso apropriado para o nível de demanda, é minimizada.

Considere:

- ✓ $x_{ijk} = 1$ se o nó i está alocado à mediana j , com instalação de nível k ; 0, caso contrário.
- ✓ $x_{jjk} = 1$ se j é uma mediana, com instalação de nível k ; 0, caso contrário.
- ✓ w_{ik} = peso atribuído à população do nó i para cada nível de serviço k .
- ✓ w_i = peso total atribuído à população do nó i , onde:

$$w_i = \sum_{k=1}^K w_{ik} \quad (4.13)$$

- ✓ $[d_{ij}]_n$ = matriz de custos ou distâncias mínimas ou tempo de viagem entre i e j .

- ✓ p_k é o número inteiro e positivo de instalações do tipo k que se deseja localizar. Neste modelo estas instalações são medianas.
- ✓ n é o número de nós considerados no problema.

A função-objetivo minimiza a distância ponderada ou o tempo de viagem em toda a região e é formulada matematicamente como:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \sum_{k=1}^K w_{ik} x_{ijk}$$

Sujeito às seguintes restrições:

1) Se o nó (área) j tem uma instalação do tipo k^* (ou seja, se em j uma instalação do tipo k^* é alocada), então todos os serviços anteriores a k^* são oferecidos nesta área ($k \leq k^*$). No entanto, serviços superiores a k^* não são contemplados ($k > k^*$), necessitando alocar o nó para outras áreas. Matematicamente formulada como:

$$\sum_{k=1}^{k^*} \sum_{j=1}^n x_{ijk} = 1 \quad \text{para } x_{ijk^*} > 0, \forall i \quad (4.14)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} = 1 \quad \text{para } k^* < k \leq K \quad (4.15)$$

2) Um ponto de demanda i só será alocado a um vértice j se neste vértice houver uma instalação de nível k .

$$x_{jjk} \geq x_{ijk} \quad \forall i, j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K \quad (4.16)$$

3) Especifica o número de instalações de nível k .

$$\sum_{j=1}^n x_{jjk} = p_k \quad k = 1, \dots, K \quad (4.17)$$

4) Impõe que as variáveis de decisão só podem assumir valores 0 ou 1.

$$x_{ijk} = 0 \text{ ou } 1 \quad i, j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K \quad (4.18)$$

Trabalhos aplicados aos problemas de localização de instalações hierárquicas podem ser obtidos em Nunes (2002), que discute e resolve, de forma aproximada, uma classe de problemas de localização de

instalações com dois níveis de hierarquia e apresenta uma aplicação prática a sistemas para tratamento de saúde, compostos por hospitais e postos de saúde na cidade de Curitiba (PR); Galvão, Nobre e Vasconcellos (1999) apresentam diversos modelos de localização com aplicação em saúde pública e mostram a aplicação de um modelo hierárquico à localização de serviços de assistência materna e perinatal no Município do Rio de Janeiro (RJ). Além desses, pode-se citar trabalhos desenvolvidos por Espejo e Galvão (2004); Espejo, Galvão e Boffey (2003); Galvão, Espejo e Boffey (2002); Galvão, Espejo e Boffey (2006); Hodgson e Jacobsen (2009) e Lee e Lee (2010).

Por problemas hierárquicos com resolução em etapas entende-se aqueles problemas cujo procedimento de resolução divide o problema hierárquico em k -problemas. Narula e Ogbu (1979) desenvolveram um trabalho que considera a localização-alocação de centros de saúde e hospitais com objetivo de minimizar as distâncias totais ponderadas de viagens, onde as capacidades máximas foram consideradas. Trata-se, portanto, de um problema com dois níveis de hierarquias onde os hospitais oferecem todos os serviços dos centros de saúde, além de serviços adicionais. Os autores propuseram cinco heurísticas para resolver o problema de forma aproximada.

Narula e Ogbu (1979) consideraram p_1 centros de saúde e p_2 hospitais em $n = p_1 + p_2$ centros populacionais. Uma das heurísticas propõe que primeiro resolve-se o problema de localização de $(p_1 + p_2)$ medianas. Estas $p_1 + p_2$ medianas (localizações) são empregadas para localizar os centros de saúde e hospitais. Em seguida as $p_1 + p_2$ medianas são usadas para resolver um problema de p_2 - medianas. Estas p_2 medianas são utilizadas para localizar os hospitais e as p_1 medianas restantes (das $p_1 + p_2$ medianas) são usadas para localizar os centros de saúde. Este procedimento é chamado de *Forward p-median heuristic*, sendo a heurística recomendada pelos autores em função do tempo computacional requerido.

Recentemente, Baray e Cliquet (2013) usaram esse procedimento de resolução em etapas para otimizar a localização dos três níveis de maternidades existentes na França. Os autores resolveram o problema em três etapas: em um primeiro momento k maternidades independentemente do seu nível (1, 2 ou 3) foram localizadas, usando um modelo de máxima cobertura. A segunda etapa envolveu a localização de p , entre os k locais da primeira etapa, para encontrar aqueles que podem corresponder aos níveis 2 ou 3 através de um modelo p -medianas. A última etapa identificou os m melhores locais entre os p

locais selecionados na etapa anterior, usando modelo de m -medianas, para as instalações de nível 3.

4.5 PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE SAÚDE

Questões envolvendo a decisão sobre quais os melhores locais de clínicas médicas e veículos de emergência, de forma que ofereçam cobertura de saúde máxima a uma população dada ou quais/quantos locais-base de ambulâncias médicas são necessários para que a distância total a partir da localização dos hospitais deva ser inferior a um valor determinado, são exemplos de problemas abordados pela área de Pesquisa Operacional e Saúde a fim de fornecer diversas metodologias e técnicas de solução para resolvê-los (RAIS; VIANA, 2010).

Rais e Viana (2010) comentam também que os principais problemas de otimização de saúde incluem questões como planejamento de serviços, agendamento de recursos, logística, diagnóstico de doenças e cuidados preventivos. Os autores acrescentam ainda que esta última linha cresce muito atualmente, principalmente pela diminuição da taxa de natalidade em quase todos os países desenvolvidos e pelo aumento da longevidade média global.

Segundo Daskin e Dean (2004), os modelos de localização mais utilizados em planejamento de saúde são o modelo de cobertura de conjuntos, o modelo de máxima cobertura e o modelo de p -medianas. Além disso, os autores comentam também que os modelos envolvem grandes áreas, como acessibilidade, adaptabilidade e viabilidade.

Dois grandes grupos de modelos de localização discretos foram identificados por Daskin (2008): cobertura de conjuntos e p -medianas. Para o autor, modelos de cobertura são particularmente apropriados no setor de saúde para analisar os serviços de emergência, onde o tempo de resposta é crítico. Por outro lado, modelos baseados em medianas têm sido utilizados para maximizar o acesso dos pacientes aos serviços, o que é obtido através de uma função objetivo que minimiza a distância de viagem da demanda ponderada (MESTRE; OLIVEIRA; BARBOSA-PÓVOA, 2012).

Modelos baseados em medianas, com um objetivo *minisum*, permitem a análise de melhorias na distância ponderada percorrida, garantindo simultaneamente que um tempo de viagem máximo é assegurado para todos os pacientes (MESTRE; OLIVEIRA; BARBOSA-PÓVOA, 2012). Os autores comentam ainda que o modelo de medianas, quando comparado com outros modelos de localização, aparecem como uma forma adequada e flexível para representar uma

rede existente de hospitais e de considerar os fluxos de pacientes através dessas redes.

Souza (1996) considera conveniente o uso do modelo *minisum* em países com poucos recursos financeiros (como é o caso do Brasil), pois “normalmente não se tem um número ilimitado de equipamentos para colocar à disposição de todos os usuários em potencial na área de estudo, a fim de garantir uma medida mínima de desempenho do sistema, mas, sim, se dispõe de apenas algumas unidades que devem ser distribuídas da melhor maneira possível”.

Rais e Viana (2010) apresentam uma pesquisa do tipo *survey*, onde examinam várias aplicações de Pesquisa Operacional no domínio da saúde. O artigo elaborado por esses autores revisa as principais contribuições contemporâneas de otimização nessa área, destacando as pesquisas atuais e apresentando a variedade de problemas e técnicas de solução.

Nos últimos dez anos, vários trabalhos foram realizados envolvendo problemas de localização de sistemas de saúde e problemas hierárquicos. Além dos já citados anteriormente na introdução, destaca-se o trabalho realizado por Hodgson e Jacobsen (2009), que introduziu o conceito de "distância esperada sob referência" para lidar com o fato de que pacientes podem ignorar instalações de nível inferior. Os autores consideraram essa característica e a incorporaram em um modelo de localização-alocação hierárquico de p -medianas, com o objetivo de minimizar os efeitos negativos desse comportamento irracional.

No contexto nacional, cita-se o trabalho de Galvão *et al.* (1999), que apresenta diversos modelos de localização com aplicação em saúde pública, onde analisam a localização de serviços não emergenciais, de serviços de emergência e a localização de serviços hierarquicamente relacionados. A aplicação de um modelo hierárquico para a localização de serviços de assistência materna e perinatal no Município do Rio de Janeiro - RJ é apresentada. Galvão *et al.* (2006) apresentam um estudo realizado no município do Rio de Janeiro visando à redução da mortalidade perinatal, através de uma melhor distribuição dos serviços de saúde. Outros detalhes desta pesquisa podem ser obtidos em Galvão *et al.* (2002). Scarpin, Steiner e Dias (2006) apresentam uma proposta para a otimização no serviço de saúde no estado do Paraná com relação ao fluxo de pacientes dentro do estado e a regionalização deste obtendo novas configurações hierárquicas.

Verter e Lapierre (2002) focam no problema de localização de instalações de cuidados de saúde preventivos, com o objetivo de maximizar a participação em programas de prevenção. Os autores

assumem que a distância é um dos principais determinantes da participação e que as pessoas procurariam por serviços preventivos de saúde se a localização da instalação que prestasse esse serviço fosse próxima. Os autores fornecem uma formulação matemática, apresentam uma solução e relatam o desempenho computacional dos métodos propostos através da aplicação na localização de centros de saúde pública em Fulton County, Geórgia e centros de triagem de mamografia em Montreal, Quebec.

O trabalho produzido por Baray e Cliquet (2013) apresenta um modelo de localização-alocação hierárquico que combina dois modelos clássicos de localização de instalações: o modelo de máxima cobertura e o modelo de p -medianas, onde o objetivo é adaptar a distribuição espacial para os vários níveis de demanda. A aplicação prática é feita para otimizar a localização de três níveis de hospitais-maternidade encontrados na França. Segundo os autores, esta combinação hierárquica dos modelos localizou todas as maternidades de tal forma que todo o território foi coberto, embora os hospitais-maternidade de nível 3 estão mais próximos e em regiões mais centrais do que os outros, seguidos pelos hospitais-maternidade de nível 2.

Considerando os estudos realizados para o desenvolvimento da presente tese, Cirino, Lima e Gonçalves (2014) expõem uma aplicação prática, baseada na configuração atual do estado de Santa Catarina, para o serviço de atendimento cardiológico, em diferentes pontos da área em estudo. As autoras compararam os resultados obtidos com os alcançados por Lima (1996), que desenvolveu uma metodologia para determinar a localização espacial de centros intermediários de serviços especializados de saúde em uma determinada região, utilizando como estudo de caso os serviços especializados em cardiologia no estado de Santa Catarina (LIMA; GONÇALVES, 1998; LIMA; GONÇALVES, 1999).

Cirino, Gonçalves e Gonçalves (2013) buscaram uma configuração ótima para uma rede hospitalar hierárquica, através da utilização de um modelo de localização de p -medianas, cujo princípio se baseou na detecção de locais que minimizam a distância média ponderada entre as unidades de serviços e as localizações. Uma aplicação prática para o estado de Santa Catarina foi feita considerando uma hierarquização para as unidades hospitalares existentes.

Em Cirino, Gonçalves e Cursi (2014) a distribuição equitativa dos serviços de saúde entre usuários foi investigada, através da inserção de um indicador de acessibilidade em um modelo de localização, onde o tempo médio de viagem gasto pelos usuários e a diferença entre as zonas mais acessíveis das menos acessíveis foi reduzido. A aplicação foi

realizada tomando a rede hospitalar do Vale do Itajaí, estado de Santa Catarina. Os resultados demonstraram que a inserção do indicador de acessibilidade como restrição no modelo de localização minimiza a diferença existente entre as regiões mais acessíveis das menos acessíveis.

Enfrentar os problemas de otimização que aparecem ligados à área de saúde não será tarefa fácil e exigirá uma quantidade considerável de pesquisas. Identificar os problemas de otimização e perceber quais parâmetros são relevantes em modelos matemáticos pode ser desafiador (RAIS; VIANA, 2010). Encontrar as técnicas adequadas para as soluções ou a formulação de novas metodologias para a resolução dos modelos pode ser complicado (RAIS; VIANA, 2010).

O número expressivo de publicações recentes é certamente indicativo da importância de aplicações ligadas à área da saúde para profissionais de pesquisa operacional. Estas pesquisas tem sido aplicadas com sucesso em problemas de otimização resultantes dos cuidados de saúde, envolvendo tanto modelos determinísticos quanto probabilísticos. Segundo Rais e Viana (2010), “os pesquisadores abordaram principalmente os problemas de otimização associadas à internação hospitalar, aos serviços hospitalares, à recuperação do paciente, ao planejamento de recursos, à utilização das instalações, à logística, à cadeia de suprimentos, à coordenação de vacinação, ao bioterrorismo e à resposta de emergência”.

De maneira geral, a localização é determinada *a priori* e um indicador de acessibilidade é calculado *a posteriori*. Ao contrário, na presente tese, deseja-se apresentar um modelo para análise locacional de sistemas de saúde considerando instalações hierárquicas e que garanta equidade para a maior parte da população. Com o intuito de alcançar este fim, a construção do modelo será apresentada no capítulo seguinte, onde a estrutura hierárquica, o indicador de acessibilidade usado, o modelo utilizado e os métodos aplicados para a resolução do problema serão expostos.

5 CONSTRUÇÃO DO MODELO

5.1 INTRODUÇÃO

Sterman (2000) comenta que a atividade de modelagem não é “um tiro” que rende uma resposta certa e linear, mas sim um processo cíclico, contínuo e ininterrupto entre a ação do mundo real e o mundo virtual que o modelo tenta descrever da melhor forma possível. O que se enseja é utilizar um modelo para representar a localização ótima de unidades hospitalares hierarquizadas. Uma nova distribuição espacial dos hospitais públicos será apresentada utilizando-se os dados reais, para que uma comparação da solução ótima obtida pelo modelo que está sendo proposto com a atual configuração para o estado de Santa Catarina possa ser feita.

Os princípios básicos da Teoria do Lugar Central de Christaller (CORRÊA, 1989) são utilizados para propor uma hierarquização, onde os hospitais são organizados em níveis conforme a especialidade oferecida, com o intuito de proporcionar um melhor atendimento, a uma distância menor, para cada nível de serviço. Assume-se uma hierarquia de instalação sucessivamente inclusiva e o problema proposto será resolvido pelo uso repetido do algoritmo de *p-medianas*.

Os elementos-base da Teoria do Lugar Central foram apresentados na II Guerra Mundial por dois estudantes germânicos, o geógrafo Walter Christaller e o economista August Losch (BERRY, 1967, *apud* LIMA, 1996). Centralidade é o principal objeto dessa teoria e pode ser definida como a condição de um lugar possuir uma ordem superior de significados quando confrontado com outros lugares na sua área adjacente (LIMA, 1996).

A Teoria do Lugar Central tem sido aplicada na análise de localização e distribuição de bens e serviços (CIRINO; LIMA; GONÇALVES, 2014; LIMA, 1996). Essa apreciação é baseada nos princípios que regulam a formação de núcleos centrais em certas regiões, podendo ser definidos conforme as características desses bens e serviços que se pretende localizar (LIMA, 1996). Para Corrêa (1989), a centralidade de um núcleo faz referência ao grau de importância que se dá a partir das funções centrais, que são atividades de distribuição de bens e serviços. Quanto maior o número de funções centrais, maior será a região de influência e, com isso, maior será sua centralidade.

Na Teoria do Lugar Central, assume-se que o comércio entre as localidades centrais se torna mais complexo conforme a população se expande. Esse aumento de complexidade gera o interesse entre as

pessoas de instalar seus negócios nessas regiões centrais, gerando uma possibilidade maior de escolha para os usuários dos serviços oferecidos, tido como um fator econômico importante, que contribui para o desenvolvimento do local (LIMA, 1996).

Na teoria de Christaller, grandes, médias, pequenas cidades e minúsculos núcleos semirrurais são considerados como localidades centrais, pois oferecem serviços para uma população externa à posição da localidade central, considerada dotada de funções centrais. Christaller define ainda dois outros conceitos básicos: o de alcance espacial máximo e alcance espacial mínimo (CORRÊA, 1989).

- ✓ Alcance espacial máximo ou *maximum range* – refere-se à área determinada por um raio a partir da localidade central onde, dentro dessa área, os consumidores deslocam-se para o local central visando à aquisição de bens e serviços. Fora dessa área, os consumidores deslocam-se para outros centros mais próximos, o que implica em menores custos de transportes.
- ✓ Alcance espacial mínimo ou *minimum range threshold* – compreende a área em torno de uma localidade central, englobando um número mínimo de consumidores, suficientes para que uma determinada função central possa se instalar economicamente.

A distância a ser percorrida afeta o comportamento dos indivíduos que desejam adquirir determinado bem ou serviço. O conceito de alcance espacial máximo sugere que o consumidor não almeje viajar mais do que certa distância estabelecida para adquirir um bem ou serviço. Sendo assim, esse conceito está relacionado ao aspecto espacial do centro, característica esta que tem sido considerada na modelagem de localização e alocação de instalações (LIMA, 1996).

O alcance espacial máximo é influenciado, em um primeiro momento, pela tomada de decisão do consumidor, e, sob outra perspectiva, o alcance espacial mínimo pode estar relacionado com as tomadas de decisões empresariais (LIMA, 1996).

Bens e serviços consumidos com menor frequência necessitam de um alcance espacial mínimo. Em contrapartida, esses bens e serviços suportam custos de transportes mais elevados, apresentando, com isso, um maior alcance espacial máximo (CORRÊA, 1989).

Isso posto, uma hierarquização na oferta de bens e serviços é estabelecida. Um exemplo de hierarquia urbana, onde as localidades

centrais têm denominações usuais e as funções centrais são hipotéticas, é apresentada no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Exemplo de hierarquia urbana

Centros	Funções centrais
Metrópole regional	abcd efgh ijkl mnopqrst
Capital regional	efgh ijkl mnopqrst
Centro sub-regional	ijkl mnopqrst
Centro da zona	mnopqrst
Centro local	qrst

Fonte: Corrêa (1989)

Com o exemplo apresentado no Quadro 5.1, é possível notar que a hierarquia urbana deriva diretamente das funções centrais. A metrópole oferece um conjunto completo de bens e serviços, além de atividades que só podem ser oferecidas por ela. Esses são os serviços consumidos com menor frequência e com um certo nível de especialidade, que só ela tem condições de oferecer, além de oferecer serviços mais básicos, consumidos com maior frequência.

Percebe-se que a hierarquia das localidades centrais expressa um padrão hierárquico sistemático e acumulativo de funções centrais. À medida que o nível de hierarquia é elevado, um acúmulo das funções centrais dos níveis inferiores é observado, além das funções que definem o nível hierárquico em consideração para cada grau.

A hierarquia na Teoria de Christaller é rígida, visto que um centro irá oferecer um bem de uma determinada ordem somente se a demanda para este bem for suficiente para encontrar as necessidades de alcance espacial mínimo, e somente se o centro oferece todos os bens de menores ordens.

Para Baray e Cliquet (2013), o desafio metodológico está em escolher o modelo que irá oferecer o melhor ajuste para o problema de localização proposto inicialmente e, em um segundo momento, oferecer a melhor otimização. Este estudo explora o contexto das unidades hospitalares que atendem pelo SUS, do estado de Santa Catarina, Brasil. Para isso, uma hierarquização das unidades hospitalares foi proposta, observando os conceitos da Teoria do Lugar Central de Christaller.

5.2 ESTRUTURA HIERÁRQUICA DO MODELO

É proposta, neste trabalho, uma distribuição espacial de unidades de serviços. O problema a ser resolvido é o de onde melhor localizar essas unidades hospitalares nos níveis sugeridos.

Como mencionado no Capítulo 2, as unidades hospitalares são classificadas em quatro portes (I, II, III e IV), conforme o número de leitos, número de leitos em UTI, serviços oferecidos em alta complexidade, urgência e emergência, gestão de alto risco e número de salas cirúrgicas, entre outros. O estado de Santa Catarina conta com 181 unidades hospitalares, incluindo-se, neste número, os hospitais públicos, privados e mistos que atendem pelo SUS. Destas, 140 são de porte I, 18 de porte II, 13 de porte III e 10 de porte IV.

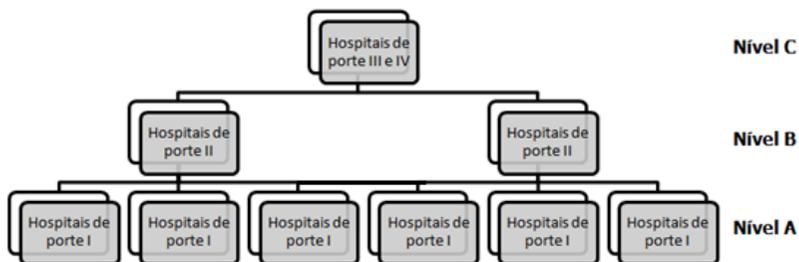
A classificação hierárquica proposta para este estudo, baseada na Teoria do Lugar Central de Christaller, é a seguinte:

- ✓ Nível A – unidades hospitalares classificadas como Porte I, que proporcionam aos usuários atendimentos de clínica básica (clínica cirúrgica, obstétrica, médica e pediátrica), podendo fornecer um procedimento de alta complexidade e com capacidade de até 50 leitos, em nível de pronto atendimento;
- ✓ Nível B – unidades classificadas como Porte II, que proporcionam, além dos atendimentos de clínica básica, serviços de urgência e emergência, normalmente com dois procedimentos de alta complexidade e capacidade de até 150 leitos, sendo alguns deles de UTI;
- ✓ Nível C – unidades classificadas como Porte III e IV, consideradas referência nos procedimentos de alta complexidade para os demais hospitais, possuem capacidade superior a 150 leitos e atendem a quase todas as especialidades.

Isso sugere uma hierarquização dos serviços em unidades hospitalares em todo o estado. Essa hierarquização visa diminuir o fluxo de pacientes que procuram diretamente os hospitais do nível C, tentando garantir aos usuários do sistema de saúde um melhor atendimento em um intervalo de tempo menor.

A estrutura dessa hierarquia é representada na Figura 5.1.

Figura 5.1 – Estrutura hierárquica proposta



O problema de localização a ser resolvido, baseado na minimização da distância média a ser percorrida pelos usuários, é onde localizar as unidades hospitalares nos três níveis propostos (A, B e C) de forma a proporcionar um melhor atendimento à população. Além de otimizar a distância média percorrida, procura-se garantir a equidade mínima no atendimento através do uso de um indicador de acessibilidade. Para melhor adequar o modelo à situação real a ser estudada, considera-se que as instalações hierárquicas são do tipo sucessivamente inclusivas, ou seja, as instalações de nível C oferecem os serviços das instalações de níveis B e A, e as instalações de nível B fornecem os serviços das instalações de nível A.

A capacidade de cada instalação não será considerada. Os três níveis hierárquicos propostos estão baseados na Teoria do Lugar Central e o número de instalações, para cada nível de serviço, é fixo e baseado no número real de unidades hospitalares instaladas no estado objeto deste estudo. O indicador de acessibilidade considerado neste trabalho é apresentado a seguir.

5.3 O INDICADOR DE ACESSIBILIDADE UTILIZADO

O indicador utilizado é do tipo gravitacional (PIRIE, 1979), o qual incorpora a separação espacial entre os pares origem e destino e uma medida de atratividade. Nesse indicador, quanto maior a distância (ou tempo de viagem), menor a acessibilidade; quanto maior a atratividade, maior a acessibilidade. É um indicador “crescente”, ou seja, quanto maior o valor obtido para o indicador, melhor é a acessibilidade.

Além das informações de distância (ou tempo de viagem), outro dado necessário para o cálculo do indicador de acessibilidade gravitacional é a atratividade. Para tanto, dentre os diversos parâmetros que podem ser concebidos, considerou-se, neste estudo, o número de

leitos existentes em cada zona. O número atual de leitos hospitalares foi tomado para as zonas que possuem unidades hospitalares, segundo dados do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES) (BRASIL, 2016a).

Negri Filho e Barbosa (2014) discutem que a oferta real de leitos no SUS é de 1,85 leitos por mil habitantes, mas que, ao se considerar a prospecção de necessidades que terá uma população mais envelhecida, com crescimento de doenças crônicas e níveis altos de traumatismos e violências, esse número deveria ser de 4 leitos por mil habitantes, para a realidade brasileira. Baseado nesses valores, para fins de realização dos testes computacionais, assume-se, para as zonas que não possuem hospitais, 4 leitos para cada mil habitantes.

Sejam:

A_i = acessibilidade da zona i ;

Atr_j = atratividade da zona j ;

c_{ij} = distância (ou tempo de viagem) entre i e j ;

γ = parâmetro a ser ajustado;

na = número de unidades hospitalares consideradas no cálculo do indicador.

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^{na} Atr_j \exp(-\gamma c_{ij})}{\sum_{j=1}^{na} Atr_j} \quad (5.1)$$

Tendo em vista que se deve considerar a equidade ao acesso e à localização das unidades de saúde um dos itens primordiais no gerenciamento dos sistemas de saúde, por constituir aspecto fundamental para garantir atendimento à saúde para a população (CIRINO; GONÇALVES; CURSI, 2014), o indicador de acessibilidade é usado para perturbar a solução ótima encontrada no modelo de p -medianas, de tal forma que a diferença entre o maior e o menor valor da acessibilidade seja a menor possível, com o intuito de garantir esta equidade. Com essa finalidade, o parâmetro β , apresentado na equação (5.2), será calculado. Quanto menor for o valor de β , mais equitativo será o sistema analisado.

$$\beta = \frac{MaxA_i - MinA_i}{MaxA_i} \quad (5.2)$$

Onde:

$MaxA_i$ = valor máximo da acessibilidade;

$MinA_i$ = valor mínimo da acessibilidade.

Diversos métodos, heurísticos e meta-heurísticos, podem ser aplicados na resolução do problema, dentre os quais destacam-se: o método guloso, o algoritmo Teitz e Bart e suas variações, os Algoritmos Genéticos, a Busca Tabu, o *Simulated Annealing*. Testes computacionais foram desenvolvidos e optou-se pela utilização dos métodos descritos na seção que segue.

5.4 MÉTODOS APLICADOS À RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

5.4.1 Fronteira de Pareto

Um problema de otimização multiobjetivo é caracterizado pela otimização simultânea de várias funções-objetivo com diferentes soluções ótimas. Em muitos casos, as funções-objetivo de um problema de otimização multiobjetivo são não comensuráveis e conflitantes entre si. Por essa razão, não existe uma solução única ótima simultânea a todos os objetivos (AMORIM; ROMERO; MANTOVANI, 2009). O que existe é um conjunto de soluções eficientes no qual nenhuma solução é melhor do que a outra solução para todos os objetivos. O tomador de decisão é o responsável pela escolha de uma solução particular eficiente. Esse conjunto de soluções é comumente referenciado como fronteira de Pareto ou conjunto Pareto-ótimo.

Ao se resolver um problema multiobjetivo, dois aspectos podem ser apontados como importantes: a busca de soluções e a tomada de decisões. O primeiro enfoque está relacionado ao processo de otimização (ARROYO, 2002). O segundo abrange a seleção de um critério adequado para a escolha de uma solução do conjunto Pareto-ótimo (ARROYO, 2002). É papel do tomador de decisão ponderar os objetivos conflitantes (ARROYO, 2002).

Arroyo (2002) apresenta três categorias para classificar os métodos multiobjetivos do ponto de vista do tomador de decisão, que são:

1. *Métodos a priori* – caracterizados pela participação do decisor antes do processo de busca de soluções, ou seja, antes do problema de otimização ser resolvido. Dois tipos de métodos a priori são expostos:
 - a. Quando os objetivos do problema são combinados em um único objetivo. Para isso, pesos devem ser determinados explicitamente, de forma que a preferência de cada objetivo seja reproduzida.

Vantagem: estratégias clássicas para obter a solução de problemas com objetivo único podem ser aplicadas.

- b. Quando os objetivos são classificados em ordem decrescente de prioridade. Inicialmente, o problema é resolvido para o primeiro objetivo sem considerar os restantes. A seguir, o problema é resolvido para o segundo objetivo sujeito ao valor ótimo encontrado para o primeiro objetivo. O processo continua até que o problema seja resolvido para o último objetivo sujeito a todos os demais.
2. *Métodos a posteriori* – o processo de decisão é feito logo após a realização da busca de soluções. A busca é feita considerando todos os objetivos com igual importância e ao final do processo tem-se um conjunto de soluções aproximadas, também conhecidas como Pareto-ótimas. Desse conjunto de soluções, o tomador de decisão escolhe uma solução que melhor representa o problema.
3. *Métodos iterativos* – neste caso o tomador de decisão intervém ao longo do processo de busca de solução, sistematizando as preferências e guiando a busca por regiões onde existam soluções de interesse.

Definição: Um problema de otimização multiobjetivo P pode ser formulado como $\{\min f(\vec{x}) \mid \vec{x} \in X\}$, onde X é o conjunto de soluções viáveis de P (espaço de soluções) e $f(\vec{x})$ é um vetor de objetivos $\{f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_n(\vec{x})\}$ a ser otimizado. Em problemas multiobjetivos, existem diversas soluções de compromisso entre os objetivos abordados. Ao referido conjunto de soluções dá-se comumente o nome de fronteira de Pareto, que pode ser definida através do conceito de dominância, exposto a seguir (DE SOUSA; SANTOS; ALOISE, 2013).

Considere um problema de minimização, sem perda de generalidade. Uma solução \vec{x} domina \vec{y} (denotado como $\vec{x} \preceq \vec{y}$), se e somente se, satisfaz as condições da equação (5.3).

$$\begin{cases} f_k(\vec{x}) \leq f_k(\vec{y}) & \forall k \in 1 \dots n \\ f_k(\vec{x}) < f_k(\vec{y}) & \exists k \in 1 \dots n \end{cases} \quad (5.3)$$

Ou seja, (a) a solução \vec{x} é pelo menos igual a \vec{y} em todas as funções objetivo e (b) a solução \vec{x} é superior a \vec{y} em pelo menos uma função objetivo. Uma *solução Pareto-ótima* $f_k(\vec{x}^*)$ não é dominada por

nenhuma outra solução pertencente ao espaço de busca X . A *fronteira de Pareto* contém o conjunto de soluções ótimas (não dominadas).

Ao mover-se de uma solução de Pareto para outra, há sempre uma certa quantidade de sacrifício em um objetivo para atingir uma certa quantidade de ganho no outro (KONAK; COIT; SMITH, 2006). O conjunto ótimo de Pareto pode ter tamanho variado, geralmente aumentando de tamanho com o aumento de objetivos (KONAK; COIT; SMITH, 2006).

Quando se trata de problemas reais, os objetivos são conflitantes uns com os outros, na maior parte dos casos. Com isso, ao otimizar P com respeito a um único objetivo, os resultados serão quase incabíveis em relação aos outros. Portanto, desejar uma solução multiobjetivo perfeita, que otimiza simultaneamente cada função objetivo, é quase impraticável. Uma solução razoável é investigar um conjunto de soluções, cada uma das quais satisfaz os objetivos a um nível aceitável, sem ser dominado por qualquer outra solução (KONAK; COIT; SMITH, 2006).

5.4.2 Algoritmos Genéticos

Os Algoritmos Genéticos (AG) foram desenvolvidos para buscar boas soluções para problemas de otimização, simulando o modo como os seres vivos evoluem. Na natureza, basicamente, há uma população de indivíduos da mesma espécie que competem por sobrevivência e por parceiros sexuais. Seu princípio básico é fundamentado na teoria de evolução proposta por Darwin em 1859, onde os indivíduos mais adaptados, geralmente mais fortes, resistentes, ágeis, ou que conseguem se disfarçar melhor de predadores, têm maiores probabilidades de viver mais tempo e gerar descendentes. Os descendentes recebem heranças genéticas de pais melhores adaptados, que trazem ou mantêm algum tipo de vantagem sobre gerações anteriores, e que por isso têm mais chances de viver por mais tempo e acabam por espalhar mais seus genes. Aos poucos geram-se espécies que são bem adaptadas ao ambiente em que vivem (SIVANANDAM; DEEPA, 2008).

Os algoritmos genéticos abstraem esses conceitos biológicos para fazer buscas em soluções de um problema de otimização, supondo que certos sistemas artificialmente construídos se comportam de forma similar a sistemas naturais quanto ao desenvolvimento de indivíduos, que se adaptam ao universo diminuindo suas ineficiências ao longo de gerações. Os algoritmos genéticos se destacam de outros métodos de busca por conter uma população onde indivíduos são selecionados,

combinados, e indivíduos novos são gerados, contribuindo constantemente para desenvolver a população.

Os Algoritmos Genéticos foram inicialmente propostos por John Holland, da Universidade de Michigan, nas décadas de 1960 e 1970 (HÖRNER, 2009). Podem ser compreendidos como algoritmos que trabalham com estruturas computacionais, que avaliam sua aptidão, evoluindo de forma a melhorar os indivíduos da população para que o mais apto seja selecionado, de forma que a solução ótima do problema seja encontrada (SILVOSO, 2003).

O Algoritmo Genético é um processo iterativo que mantém uma população de estruturas (chamadas de indivíduos ou cromossomos), que representam possíveis soluções de um determinado problema. Durante o processo evolutivo, em cada geração, os indivíduos da população atual são avaliados de acordo com sua capacidade para a solução do problema. Para cada indivíduo é atribuído um valor, ou índice, refletindo sua habilidade de adaptação (*fitness*) a determinado ambiente. Um percentual dos indivíduos mais adaptados é mantido, enquanto que os demais são descartados. Os indivíduos mantidos pela seleção podem sofrer modificações em suas características fundamentais através de mutações e cruzamento (*crossover*) ou recombinação genética, gerando descendentes para a próxima geração, caracterizando a reprodução (HÖRNER, 2009).

Os principais elementos dos Algoritmos Genéticos são: (a) indivíduo, (b) população, (c) *fitness*, (d) *crossover*, (e) seleção, (f) mutação e (g) reprodução, que serão descritos a seguir.

- (a) Um indivíduo é uma solução do problema de otimização. A título de exemplo, em um problema de caixeiro viajante, uma solução é dada pela sequência de caminhos percorridos, por exemplo, 3-5-1-2-7-9-6-4-8. Um gene é a menor porção de informação útil que se pode extrair de um indivíduo. Do ponto de vista computacional é um vetor de representação binária, ou caracteres, de tamanho arbitrário, que pode ser interpretado na solução do problema. No caso do problema de caixeiro viajante um gene pode ser um ponto de visitação. Neste caso, 3,9,4 etc. são genes da solução descrita anteriormente.

Alelos são conjuntos contíguos de genes que guardam informação relevante, por exemplo, 3-5-1 pode ser considerado um alelo da solução se guardar alguma característica importante. Como na natureza, alelos que guardam características favoráveis ao indivíduo tendem a se

espalhar e se perpetuar na população, enquanto alelos que guardam ineficiências tendem a sair da população. Os cromossomos são o conjunto ordenado de genes que formam o indivíduo.

- (b) A População Inicial é decidida pelo operador e determina o espaço de buscas do algoritmo. Pode ser uma geração aleatória ou obedecer a uma lei de formação. Cada indivíduo é avaliado por uma função de *fitness*, que permite comparar duas quaisquer soluções do problema.
- (c) *Fitness*. Na natureza pode-se identificar indivíduos mais capazes de sobreviver do que outros, seja pelo porte, por astúcia, ou por outras características que os beneficiem. Para transformar esse conceito em algo que permita determinar o melhor indivíduo de um grupo é necessária uma métrica relacionada ao indivíduo. Chama-se *fitness* ao número que é relacionado ao indivíduo e que representa o grau de qualidade que possui quando comparado a outros. Apesar de, na natureza, ser muito difícil quantificar o quanto um indivíduo é melhor do que outro, em problemas de otimização isto é realizado pela função objetivo. Logo, o *fitness* de um indivíduo é o valor da função-objetivo aplicado a ele. O *fitness* nos dá a relação de ordem que é necessária para comparar e distribuir os indivíduos na população.
- (d) *Crossover*. O funcionamento do algoritmo genético se baseia na ideia central da seleção natural, que é de preservar variações favoráveis e rejeitar as desfavoráveis. O *crossover* é o modo como os genes dos pais são recombinados para formar os descendentes. A cada iteração se espera que melhores descendentes sejam criados a partir da informação genética de seus pais.

Depois de feita a seleção dos pais, deve-se tomar uma decisão de como os genes devem se combinar para formar a estrutura do filho, que pode ser feita a partir de um ponto que corte cada cromossomo em duas partes para então se fazer uma seleção entre os genes paternos para compor o cromossomo descendente, ou outra forma mais adequada a um determinado fim. A literatura mostra que há uma certa liberdade para esse trabalho, podendo usar mais de um ponto de corte nos cromossomos pais para obter um filho, utilizar três pais, dentre outras opções presentes na literatura (SIVANANDAM; DEEPA, 2008, p.52).

Como operadores genéticos citamos: a seleção, a reprodução, o cruzamento e a mutação.

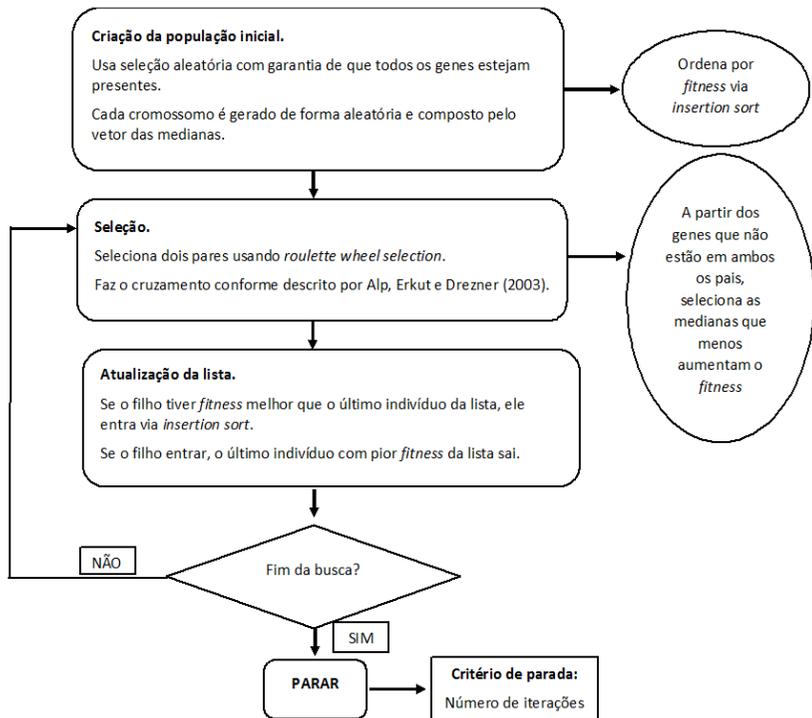
- (e) A seleção é o processo pelo qual se escolhem os indivíduos da próxima geração. Existem várias técnicas para efetuar a seleção, sendo o método *roulette wheel selection* (a regra da roleta) o mais difundido na literatura, onde cada indivíduo recebe uma porcentagem de acordo com o seu *fitness* e os próximos indivíduos são escolhidos por sorteio.
- (f) O operador de mutação é responsável pela inserção de pequenas mudanças aleatórias nos cromossomos dos filhos.
- (g) A reprodução consiste essencialmente em transferir características genéticas dos indivíduos da população atual para a futura geração.

Na implementação de um AG, em geral, a partir da população inicial criada, dois exemplares são escolhidos e recombinados para gerarem um descendente, que é então avaliado por uma função *fitness* (função objetivo). A forma como os pais são escolhidos e o descendente é gerado pode variar. Há autores que utilizam uma subpopulação de descendentes que depois é incorporada aos sobreviventes da anterior, formando uma nova geração, ou ainda métodos menos sofisticados, como um dos pais sair da população compulsoriamente, ou considerar a não entrada do filho na população caso tenha *fitness* pior do que todos os elementos da população.

No caso implementado neste trabalho, o filho entra na população se tiver *fitness* melhor do que o último elemento presente na população (o problema é multiobjetivo). Se o descendente entrar na população, o último elemento é excluído, independentemente de ter sido um dos pais ou não (*steady state update*). Segundo essa formulação, não existem apenas reproduções entre gerações inteiras e alguns sobreviventes (como no caso *generational update*), e sim uma maior pressão de seleção natural para a população.

Esses passos são repetidos até que se alcance algum critério de parada, como descrito na Figura 5.2.

Figura 5.2 – Fluxograma de execução do Algoritmo Genético



5.5 DESCRIÇÃO DO MODELO UTILIZADO PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

O modelo escolhido para determinar a melhor localização das unidades hospitalares públicas foi a de problemas hierárquicos com resolução em etapas, onde o modelo de p -medianas foi utilizado por ser considerado apropriado nos casos em que cada cliente seguidamente percorre a distância entre a sua origem e o local que oferece o serviço, tornando-se conveniente minimizar o somatório de tais distâncias. Instalações como hospitais precisam estar localizadas tão próximas quanto possível das áreas que possam necessitar do serviço.

Um peso foi atribuído a cada nó de demanda baseado na probabilidade daquela população necessitar de serviços da unidade hospitalar, em cada nível. Baray e Cliquet (2013) comentam que a restrição para a demanda, nos casos de serviços de saúde, por exemplo, consiste em oferecer acessibilidade para o maior número de doentes, o

que significa que uma instalação deve cobrir a maior parte da demanda na sua região de alcance. O modelo hierárquico permite localizar essas instalações multiníveis, mesmo considerando apenas a cobertura da demanda, dadas as limitações específicas sobre os números de cada tipo de unidade (DASKIN, 2011).

O modelo escolhido na tese está de acordo com os trabalhos desenvolvidos por Narula e Ogbu (1979) e Baray e Cliquet (2013). Narula e Ogbu (1979) consideraram um problema de localização-alocação com dois níveis de hierarquia (centros de saúde e hospitais), onde os hospitais oferecem todos os serviços dos centros de saúde, além de serviços adicionais. Os autores solucionaram esse problema hierárquico em duas etapas, usando o modelo de p -medianas para localizar tanto os centros de saúde quanto os hospitais. Baray e Cliquet (2013) aplicaram um modelo semelhante para localizar três níveis de hospitais-maternidade. Propuseram o uso do modelo de máxima cobertura para localizar as instalações de nível mais básico e, nas etapas seguintes, fizeram uso do modelo de p -medianas. Ou seja, apresentaram um modelo de localização-alocação hierárquico que combinou dois modelos clássicos de localização de instalações: máxima cobertura e p -medianas, cujo objetivo foi adaptar a distribuição espacial para os vários níveis de demanda. A aplicação prática feita visou a otimizar a localização de três níveis de hospitais-maternidade existentes na França.

Nesta tese, o processo de resolução do modelo hierárquico de localização será dividido em três etapas. Em cada etapa do problema hierárquico proposto, resolve-se um problema de p -medianas que tem por objetivo minimizar a distância total ponderada percorrida.

Considere:

- ✓ p_1 : número de instalações a serem localizadas do nível A;
- ✓ p_2 : número de instalações a serem localizadas do nível B;
- ✓ p_3 : número de instalações a serem localizadas do nível C;
- ✓ $p = p_1 + p_2 + p_3$: número total de instalações a serem localizadas;
- ✓ $m = p_2 + p_3$: número de instalações de nível B e C;
- ✓ $k = p_3$: número de instalações de nível C;
- ✓ n : número de nós (locais) considerados no problema.

Na primeira etapa, p unidades hospitalares serão instaladas dentre os n locais considerados no problema, independentemente do seu nível (A, B ou C). Dessa forma, as medianas obtidas nesta fase correspondem

às localizações preliminares de todas as instalações. Como as instalações são do tipo sucessivamente inclusivas, entende-se que, neste momento, todas elas oferecem o serviço básico, independentemente do nível de serviço que poderão oferecer.

A segunda etapa envolve a busca pela melhor localização de m instalações entre os n possíveis locais, eliminando os locais não selecionados na primeira etapa, ou seja, os $(n - p)$ nós são eliminados. Essas m medianas correspondem às localizações preliminares das unidades hospitalares de níveis B e C. Os $(p - m)$ nós não selecionados nesta fase constituem as localizações definitivas das instalações de nível A.

A última etapa irá identificar as melhores localizações para as k unidades hospitalares entre os n possíveis locais, eliminando os nós não selecionados nas etapas anteriores, ou seja, os $(n - p)$ nós eliminados na primeira etapa e os $(p - m)$ nós eliminados na segunda etapa.

Após a terceira etapa, tem-se a localização das instalações de nível C nos k pontos selecionados como medianas, e as instalações de nível B nos $(m - k)$ nós não escolhidos nesta fase. Com isso, tem-se a localização das instalações de nível A, B e C. O uso do modelo hierárquico de p -medianas deve ser capaz de fazer com que todos os municípios do estado estejam ligados às unidades hospitalares nos três níveis considerados.

Observa-se que para a segunda e terceira etapas, houve a necessidade de restringir a busca ao conjunto de nós selecionados nas etapas anteriores, porém, o número de nós considerados no problema manteve-se o mesmo. Sob essa perspectiva, tem-se para a primeira etapa $n = n$, para a segunda $n = m$, e para a terceira $n = k$. O peso atribuído a cada nó de demanda, baseado na probabilidade da população necessitar de serviços da unidade hospitalar, foi considerado diferente em cada etapa, pois essa probabilidade tende a diminuir conforme o nível do serviço oferecido pelo hospital aumenta.

As etapas realizadas para resolver o problema proposto, que está de acordo com o trabalho de Narula e Ogbu (1979), podem ser visualizadas na Figura 5.3.

Figura 5.3 – Etapas para a resolução do problema proposto

Considere:

- ✓ p_1 : número de instalações a serem localizadas do nível A;
- ✓ p_2 : número de instalações a serem localizadas do nível B;
- ✓ p_3 : número de instalações a serem localizadas do nível C;
- ✓ n : número de nós (loais) considerados no problema;
- ✓ $p = p_1 + p_2 + p_3$: número total de instalações a serem localizadas;
- ✓ $m = p_2 + p_3$: número de instalações de nível B e C;
- ✓ $k = p_3$: número de instalações de nível C.



PRIMEIRA ETAPA:

Resolver o problema de p -medianas para encontrar a localização ótima das p instalações nos n possíveis locais.

As medianas obtidas nesta fase correspondem às localizações preliminares de todas as instalações.



SEGUNDA ETAPA:

Resolver o problema de m -medianas para encontrar a localização ótima das m instalações nos n possíveis locais, eliminando os $(n - p)$ nós não selecionados na primeira etapa.

As m medianas correspondem às localizações preliminares das unidades hospitalares de níveis B e C.

Os $(p - m)$ nós não selecionados nesta etapa constituem as localizações definitivas das instalações de nível A.



TERCEIRA ETAPA:

Resolver o problema de k -medianas para encontrar a localização ótima das k instalações nos n possíveis locais, eliminando os $(n - p)$ nós não selecionados na fase 1 e os $(p - m)$ nós não selecionados na fase 2.

As instalações de nível C serão localizadas nos k pontos selecionados como medianas.

As instalações de nível B ficam localizadas nos $(m - k)$ nós não escolhidos nesta fase.

Ao finalizar as etapas descritas na Figura 5.3, o objetivo de localizar as unidades hospitalares públicas do estado de Santa Catarina é satisfeito. Testes computacionais são realizados para que os resultados possam ser comparados com a distribuição atual das instalações. Tais testes são avaliados através do uso do indicador de acessibilidade, relatado na seção 5.3.

Dado que o objetivo proposto é minimizar a soma ponderada das distâncias dos pacientes centrados em cada vértice às unidades hospitalares disponíveis, a formulação matemática é adaptada com base na proposta original de Revelle e Swain de 1970, apresentada por Swersey (1994), e é representada matematicamente por um problema de programação linear inteira, expresso por:

Considere:

$I = \{1, 2, \dots, n\}$ o conjunto dos municípios de demanda;

$J = \{1, 2, \dots, n\}$ o conjunto de municípios em potencial para localizar uma unidade hospitalar pública.

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i d_{ij} x_{ij} \quad (5.4)$$

$$\text{Sujeito a} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (5.5)$$

$$x_{jj} \geq x_{ij} \quad \forall i \in I, i \neq j \quad (5.6)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = p \quad \forall i \in I \quad (5.7)$$

$$x_{ij} = \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5.8)$$

Onde:

- ✓ w_i é o peso atribuído ao nó de demanda i que será um percentual da população total do município que necessita de atendimento em unidade hospitalar;
- ✓ $[d_{ij}]_n$ é uma matriz simétrica de custos (ou distâncias);
- ✓ x_{ij} é variável binária, com $x_{ij} = 1$ se o nó i está alocado à mediana j ou $x_{ij} = 0$ caso não esteja;

- ✓ $x_{jj} = 1$ se o nó j é uma mediana e $x_{jj} = 0$ caso contrário;
- ✓ p é um número inteiro e positivo de instalações que se deseja localizar;
- ✓ n é o número de pontos considerados no problema.

Pretende-se, com o peso atribuído a cada nó de demanda, considerar como escolha para instalação das unidades hospitalares aqueles municípios onde a população possui uma probabilidade maior de necessitar desses serviços. A matriz $[d_{ij}]_n$ foi obtida com base nas distâncias entre os municípios, através de dados geoprocessados.

Para resolver o problema de p -medianas e o problema de acessibilidade, foi utilizado o Algoritmo Genético, que é explicado nas seções seguintes.

5.5.1 O Algoritmo Genético adaptado ao problema de p -medianas

O algoritmo genético apresentado nesta pesquisa foi baseado no trabalho de Alp, Erkut e Drezner (2003). O cromossomo é formado pelas medianas do problema, por exemplo, um cromossomo 2-5-6-11 corresponde a uma solução do problema, ou seja, uma alocação das instalações 2, 5, 6 e 11.

A função de *fitness* é dada pela solução do problema de p -medianas, que é calculado somando-se as distâncias ponderadas de cada ponto à mediana que lhe for mais próxima. O tamanho da população é definido pelo usuário, sendo que Alp, Erkut e Drezner (2003) indicam utilizar a fórmula:

$$P(n, p) = \max \left\{ 2, \left\lceil \frac{n}{100}, \frac{\ln(S)}{d} \right\rceil \right\} \quad (5.9)$$

Onde n é o número de pontos considerados no problema, p é o número de medianas, $d = \lceil n/p \rceil$, menor número inteiro maior ou igual à n/p , é o número mínimo de membros para representar cada gene na população inicial e $S = C_p^n$, número total de combinações de n elementos tomados p a p , é o número de todas as possíveis soluções para o problema. A justificativa dos autores se baseia em ter sempre um valor inteiro para o tamanho da população, e ter a garantia de que cada gene deverá aparecer na população inicial. Um número de iterações próximo ao tamanho da população inicial se mostrou razoável na resolução do problema, repetidamente encontrando o valor ótimo quando verificado com o programa que calcula a solução pelo método *branch-and-cut*.

5.5.1.1 Seleção dos pais

A seleção é realizada de forma aleatória na população, utilizando o método *roulette wheel selection*, bastando separar dois indivíduos da população. Conforme afirmam Alp, Erkut e Drezner (2003), seleções não aleatórias comprometem a performance do algoritmo, logo não foram testadas.

5.5.1.2 Geração de novos indivíduos

Como operador de *crossover* inicialmente são ordenados os genes de ambos os pais em duas listas, a primeira com os genes que pertencem a ambos os pais, chamados genes fixos, e a segunda com os genes restantes, que pertencem a somente um dos pais, chamados genes livres. Os genes fixos integram o cromossomo do filho, os da segunda lista são candidatos a integrar o restante do cromossomo do filho.

O procedimento de inserção consiste em incluir temporariamente cada um dos genes livres e verificar qual deles incrementa menos a função objetivo. Este procedimento é repetido até que o número de medianas tenha sido alcançado.

Por fim, tem-se a formação de um filho, que é um candidato a entrar na população. Se tiver *fitness* melhor do que o último indivíduo da população, o filho entra na lista se já não estiver presente, de forma ordenada e crescente em relação ao seu *fitness*, utilizando o algoritmo *insertion sort*.

Em relação ao operador de mutação, Alp, Erkut e Drezner (2003) relatam que testaram vários operadores sem que melhorias fossem obtidas. A partir das conclusões destes autores, não foram inseridos no código alterações adicionais para gerar as soluções. Assim, diferentemente de outros casos, onde a inserção de mutações em indivíduos e de populações invasoras, melhoram no longo prazo a solução do problema, na aplicação estudada isto não se verifica. Sob este prisma, seria mais preciso utilizar o termo algoritmo evolucionário ao invés de genético. Entretanto, considerando-se que é inútil acrescentar operadores adicionais – o que foi verificado pois em muitos casos o algoritmo encontrou o valor ótimo, confirmado pelo pacote de otimização utilizado, em seguida descrito – nesta tese considerou-se manter o nome de algoritmo genético, mesmo sem operadores adicionais, como também fizeram Alp, Erkut e Drezner (2003).

5.5.1.3 Critério de parada

Alp, Erkut e Drezner (2003) orientam a interromper o algoritmo após $\lceil n\sqrt{p} \rceil$ iterações, e caso se tenha $n \gg p$ que se utilize $\lceil n\sqrt{n-p} \rceil$, o que se mostrou bastante efetivo quando a solução foi comparada com o resultado exato obtido utilizando o método *branch and cut* implementado pelo pacote GLPK (*GNU Linear Programming Kit*). O GLPK é um pacote de otimização de código aberto, que funciona como um conjunto de funções que pode ser chamado diretamente por um programa em C/C++, e que se destina a resolver problemas de programação linear em grande escala, programação inteira mista e outros problemas relacionados. O pacote GLPK inclui basicamente em seu corpo um algoritmo simplex, algoritmos de ponto interior e de programação inteira, como o método *branch-and-cut*.

O algoritmo genético implementado, em comparação com o algoritmo exato, não apresentou ganho em eficiência computacional substancial, considerando as análises feitas nas massas de dados testadas. Sua grande utilidade foi a de gerar soluções próximas da ótima, com variações nos parâmetros como o β , o desvio padrão das distâncias de cada localidade à sua mediana e a média das distâncias percorridas pelos usuários até a mediana, além da função objetivo.

5.5.2 O Algoritmo Genético adaptado para o problema de acessibilidade

O problema de p -medianas determina a distribuição de menor custo para um sistema de p instalações distribuídas entre n pontos de demanda em uma determinada região. Quando se determina uma solução ótima do problema de p -medianas, em essência não se leva em consideração as dificuldades quanto à distância dos usuários de uma dada localidade em alcançar a instalação a qual se encontra alocado. Uma dada localidade pode estar tão distante de sua mediana que torna impraticável alcançá-la. Esse fato motiva a inserção de restrições ao modelo que limitem o esforço necessário para um usuário de localidade afastada alcançar uma instalação.

O problema de p -medianas, quando adaptado ao problema de acessibilidade, se torna não linear e, como alternativa é proposto um algoritmo genético que aproveita os indivíduos gerados no problema de p -medianas para criar listas adicionais, que ordenem os melhores indivíduos segundo um determinado critério.

Sob essa perspectiva, tem-se um problema de otimização multiobjetivo, em outras palavras, deseja-se simultaneamente: reduzir o valor da soma das distâncias percorridas pelos usuários para alcançar as instalações prestadoras de serviço e distribuir de forma mais equitativa o esforço necessário para alcançar as instalações.

Obviamente, com o intuito de deixar a solução mais acessível aos usuários menos favorecidos, há uma perda de eficiência. Essa perda se justifica, pois a maior dificuldade em alcançar o serviço pode causar impossibilidade de utilização de uma instalação, aumentando a capacidade ociosa de algumas instalações, diminuindo assim a eficiência global do sistema.

Todavia, é difícil decidir qual é a solução ótima do problema considerando multiobjetividade, sendo assim, propõe-se um algoritmo que insere perturbações utilizando as características do algoritmo genético, que cria listas adicionais com os melhores resultados de objetivos diferentes, mas que tenha por norte um determinado objetivo.

Para analisar a acessibilidade da solução, três propriedades são avaliadas:

- valor de β (ver equação 5.2);
- desvio padrão das distâncias de cada localidade à sua mediana;
- média das distâncias percorridas pelos usuários até a mediana.

São, portanto, geradas três populações adicionais, organizadas em ordem crescente, segundo o valor numérico da característica em questão. Em outras palavras, uma lista é ordenada com os valores crescentes de desvio padrão, outra com o valor de beta e outra com as melhores médias.

O algoritmo, ao criar um novo indivíduo, o torna candidato a integrar quatro listas distintas: a de menor função objetivo do algoritmo de p -medianas, outra com as menores médias, outra com os menores desvios padrão e uma última com os menores valores de beta. Cada indivíduo é, portanto, criado visando a melhorar sua função-objetivo, entretanto, é candidato a integrar quatro listas ao invés de uma, como no algoritmo genético com objetivo simples.

Os resultados mais próximos do melhor valor da função objetivo servem como perturbação da solução ótima encontrada para o problema de p -medianas, e cabe ao operador a decisão a tomar. Vale salientar que os melhores resultados encontrados em cada lista extra podem ser tão

distantes da solução ótima do problema de p -medianas que torna inviável a sua aplicação.

O procedimento de solução para o algoritmo genético multiobjetivo para p -medianas adaptado cumpriu os seguintes passos:

Entrada: Criação da população inicial ordenada segundo cada característica.

Saída: Listas ordenadas segundo cada objetivo.

Início Algoritmo

Inicialização: ordenação de cada população inicial.

Repetir

Selecionar pais e gerar novo indivíduo;

Verificar se o indivíduo gerado deverá integrar cada lista separadamente;

Atualizar cada lista se houve inserção;

Até satisfazer a condição de saída.

Fim Algoritmo

Impressão de cada lista.

O modelo proposto foi aplicado considerando dados relativos ao sistema hospitalar público do estado de Santa Catarina. Os resultados obtidos da aplicação realizada serão apresentados e discutidos no próximo capítulo.

6 APLICAÇÃO DO MODELO

O problema foi resolvido levando em consideração 293 dos 295 municípios do estado de Santa Catarina. Os municípios de Pescaria Brava e Balneário Rincão não foram contemplados, uma vez que a maior parte dos dados necessários para o desenvolvimento da aplicação não estavam disponíveis, devido ao fato de terem sido instalados oficialmente apenas em 2013. As cidades com mais de 50 mil habitantes foram divididas em zonas, pois no modelo de localização utilizado, cada região contempla uma única unidade hospitalar. A divisão foi feita da seguinte forma: os municípios que possuem entre 50 e 100 mil habitantes foram divididos em duas zonas; entre 100 e 150 mil habitantes, em três zonas; entre 150 e 200 mil habitantes, em quatro; e assim sucessivamente. Dada essa divisão, 356 zonas foram consideradas no presente estudo.

A região de estudo foi particionada, sendo cada zona representada por um nó, que é um ponto de referência na zona, e o conjunto de nós, incluindo as vias de acesso, é denominada rede, e essa rede é o ente matemático sob análise neste estudo.

Segundo dados da Secretaria de Estado da Saúde, Santa Catarina conta com 181 hospitais que prestam atendimento pelo SUS, sendo 140 para atendimento de nível A, 18 para atendimento de nível B e 23 para atendimento de nível C, conforme estrutura hierárquica proposta na seção 5.2. Esses dados foram considerados fixos no momento da aplicação do modelo proposto. A distribuição geográfica atual das unidades hospitalares existentes na área base deste estudo pode ser observada na Figura 6.1.

Figura 6.1 – Distribuição atual dos hospitais existentes no estado de Santa Catarina



A matriz de distâncias $[d_{ij}]$ foi obtida com base nas distâncias entre os municípios, através de dados geoprocessados. A distância média percorrida pelos usuários para se deslocar em cada zona (assumida não nula) foi calculada através do valor esperado da distância média de deslocamento dos usuários. O valor esperado da distância usado para compor a diagonal principal da matriz é dado por (CIRINO; LIMA; GONÇALVES, 2014):

$$E[D] = (1,3)(0,38)\sqrt{A_0} \quad (6.1)$$

Onde A_0 é a área total da zona, 1,3 é o coeficiente de correção aplicado quando distâncias reais são usadas neste estudo (NOVAES; ALVARENGA, 1994) e 0,38 é o valor da constante de proporcionalidade (LARSON; ODONI, 2007). O tempo de viagem foi obtido através da matriz de distâncias, considerando uma velocidade média de 60 km/h entre municípios e 45 km/h para deslocamentos internos na zona. Além disso, um peso foi atribuído a cada nó de demanda. Para fins de simulação, os seguintes pesos foram utilizados: nível A = 10% da população do município, nível B = 5% da população do município e nível C = 1% da população do município (CIRINO; GONÇALVES; GONÇALVES, 2013).

Para o cálculo do indicador de acessibilidade apresentado na

equação (5.1), utilizou-se como atratividade o número atual de leitos hospitalares para as zonas que possuem unidades hospitalares, e para as zonas que não possuem hospitais assume-se 4 leitos para cada mil habitantes (NEGRI FILHO e BARBOSA, 2014). Como parâmetro γ foi utilizado o valor 0,8, pois assim os melhores valores obtidos para o indicador de acessibilidade estariam mais próximos de 1. Além disso, considerou-se as cinco unidades mais próximas para os hospitais de nível A, as três unidades mais próximas para o nível B e uma unidade hospitalar mais próxima para o nível C.

A coleta de dados foi realizada no decorrer do ano de 2013 e no primeiro semestre de 2014. Informações como a população e a área dos municípios foram obtidas através de dados do censo demográfico de 2010. A configuração atual das unidades hospitalares de Santa Catarina foi adquirida na Secretaria de Estado da Saúde, considerando os hospitais em funcionamento no ano de 2014 e que atendem pelo Sistema Único de Saúde.

Considerando a distribuição atual dos hospitais no estado de Santa Catarina, o indicador de acessibilidade foi calculado com a finalidade de analisar a situação real e após compará-la com os resultados obtidos para a nova distribuição espacial dada através da solução do problema de localização hierárquico considerado neste trabalho. A Tabela 6.1 mostra os valores máximos e mínimos do indicador de acessibilidade, bem como o valor de beta (β) (equação 5.2) para a configuração atual, nos três níveis hierárquicos concebidos.

Tabela 6.1 – Indicador de acessibilidade dada a configuração atual dos hospitais em SC

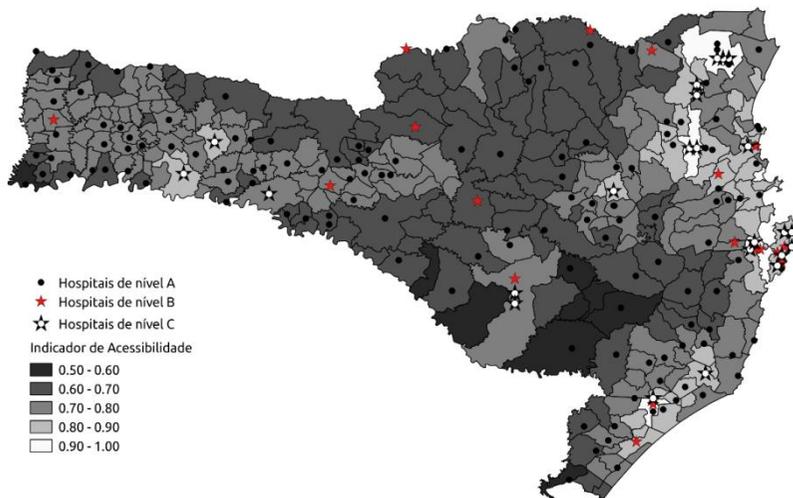
Indicador de acessibilidade – distribuição atual			
	Nível A	Nível B	Nível C
Valor máximo de A_i	0,9158	0,9356	0,9531
Valor mínimo de A_i	0,5669	0,2972	0,1734
Valor de β	0,3810	0,6824	0,8180

A análise dos dados apresentados na Tabela 6.1 demonstra que a equidade no acesso é menor quanto maior for a especialidade oferecida pelo hospital, ou seja, os valores apresentados para β são maiores para os níveis B e C, onde os hospitais são responsáveis pelos atendimentos de média e alta complexidade.

A Figura 6.2 apresenta a área de estudo com a distinção do nível de acessibilidade das zonas consideradas. Cinco faixas de categorização foram utilizadas, divididas igualmente de acordo com os valores obtidos

no cálculo do indicador de acessibilidade, contemplando valores mais elevados, intermediários e mais baixos. A distribuição das unidades hospitalares, por nível de atendimento, também pode ser observada. As áreas mais claras no mapa indicam as zonas com melhores valores para o indicador de acessibilidade, ou seja, são as regiões onde os usuários possuem um melhor acesso aos serviços.

Figura 6.2 – Mapa com a configuração atual e nível de acessibilidade das unidades hospitalares do estado de Santa Catarina, por nível hierárquico



Da análise da Figura 6.2 é possível identificar uma grande faixa do estado com baixa acessibilidade (áreas mais escuras) e perceber o aglomerado existente de unidades hospitalares em torno dos grandes centros.

Na Tabela 6.2, as faixas estabelecidas para cada nível do indicador de acessibilidade e o percentual das 356 zonas que se encontram em cada uma delas são apresentadas, para a distribuição atual. Nota-se que 48% das zonas encontram-se na faixa intermediária, 35% das zonas encontram-se nas faixas com melhor acessibilidade (valores mais elevados), restando 17% localizadas nas faixas com pior acessibilidade (menores valores).

Tabela 6.2 – Percentual das zonas de estudo em cada faixa de acessibilidade para a configuração atual dos hospitais em SC

Faixa do nível de acessibilidade	Percentual das zonas
$0,50 < A_i \leq 0,60$	1 %
$0,60 < A_i \leq 0,70$	16 %
$0,70 < A_i \leq 0,80$	48 %
$0,80 < A_i \leq 0,90$	34 %
$0,90 < A_i \leq 1,00$	1 %

As soluções do problema, apresentadas nas seções seguintes, foram encontradas com o código implementado em Linguagem C++, usando um microcomputador com processador Intel Core I5 com 4Gb de memória RAM e ambiente Linux.

6.1 RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE P-MEDIANAS HIERÁRQUICO CLÁSSICO

A solução do problema de localização-alocação clássico de p -medianas hierárquico proposto minimiza a distância ponderada percorrida pelos usuários até o sistema de atendimento hospitalar de forma generalista. Locais de baixa densidade demográfica e distantes de centros regionais – de onde se extraem as coordenadas para medir as distâncias – passam a ter pouca influência na solução, de forma que uma análise de pós-otimalidade que verifique a acessibilidade dos usuários ao sistema se torna oportuna (CIRINO *et al.*, 2016).

6.1.1 Resolução através do algoritmo exato

O problema foi resolvido por programação linear inteira e a solução exata para o problema de p -medianas hierárquico clássico foi obtida através do algoritmo *branch-and-cut*, disponível no pacote de otimização GLPK, versão 4.6.

A Figura 6.3 mostra a distribuição espacial das unidades hospitalares obtidas após a solução do problema aqui considerado pelo algoritmo exato. Na figura 6.3 é possível observar as unidades que existem atualmente e que não mais existiriam ao se considerar a nova configuração, as novas unidades que seriam instaladas e as que permaneceriam, ou seja, as obtidas na nova distribuição que coincidem com as existentes.

Figura 6.3 – Mapa com a solução do problema de p -medianas hierárquico usando o algoritmo exato, sem distinção entre os níveis hierárquicos



Da observação da Figura 6.3 é possível notar, na nova distribuição, um número maior de hospitais que seriam instalados na região central do estado, que atualmente apresenta uma defasagem no atendimento hospitalar. Dos 181 hospitais, 121 mantiveram a configuração atual, o que corresponde à pouco mais de 66% do total de unidades hospitalares.

A Tabela 6.3 mostra os valores máximos e mínimos do indicador de acessibilidade, bem como o valor de β para o resultado exato do problema de p -medianas hierárquico proposto, onde inicialmente foi resolvido o problema de localização e posteriormente o indicador de acessibilidade foi calculado.

Tabela 6.3 – Indicador de acessibilidade para a distribuição dos hospitais em SC dada a solução exata

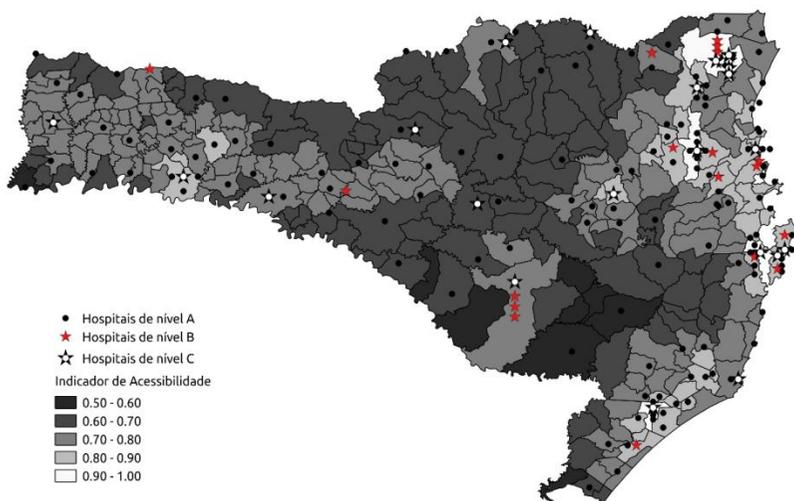
Indicador de acessibilidade – Resultado exato do problema de localização			
	Nível A	Nível B	Nível C
Valor máximo de A_i	0,9321	0,9038	0,9608
Valor mínimo de A_i	0,5325	0,3602	0,3985
Valor de β	0,4287	0,6015	0,5852

Da observação da Tabela 6.3 é possível perceber um ganho em termos de equidade nos níveis B e C, que tratam de atendimento de média e alta complexidade, quando comparados com os valores

resultantes da configuração atual, apresentados na Tabela 6.1. O valor de β apresentou uma redução de aproximadamente 12% no caso da análise da equidade nas instalações de nível B e uma diminuição de cerca de 28% no caso das unidades de nível C.

A Figura 6.4 apresenta a área de estudo com a distinção do nível de acessibilidade das zonas consideradas e a distribuição das unidades hospitalares obtida pela solução exata do problema, por nível de atendimento. As áreas mais claras no mapa indicam as zonas com melhores valores para o indicador de acessibilidade, ou seja, são as regiões onde os usuários possuem um melhor acesso aos serviços.

Figura 6.4 – Mapa com a configuração obtida através da solução do problema pelo algoritmo exato, distinguindo os níveis hierárquicos e destacando os diversos níveis de acessibilidade



Da observação da Figura 6.4 é possível perceber uma melhor distribuição dos hospitais de nível C quando comparada com a situação atual – que estão mais concentrados no litoral do estado. Uma distribuição um pouco mais homogênea também pode ser observada ao analisar a disposição das unidades hospitalares de nível B. As melhorias obtidas em termos de equidade mostradas na Tabela 6.3 podem também ser comprovadas através da distribuição mais homogênea das unidades observadas na Figura 6.4.

Na Tabela 6.4, as mesmas faixas estabelecidas para cada nível do indicador de acessibilidade estabelecidas anteriormente foram mantidas e o percentual das 356 zonas que se encontram em cada uma delas é

apresentado, para a distribuição obtida na solução exata do problema. Nota-se que 45% das zonas encontram-se na faixa intermediária, 26% das zonas encontram-se nas faixas com melhor acessibilidade (valores mais elevados), restando 29% localizadas nas faixas com pior acessibilidade (menores valores).

Tabela 6.4 – Percentual das zonas em cada faixa de acessibilidade para a distribuição dos hospitais em SC obtida através da solução exata

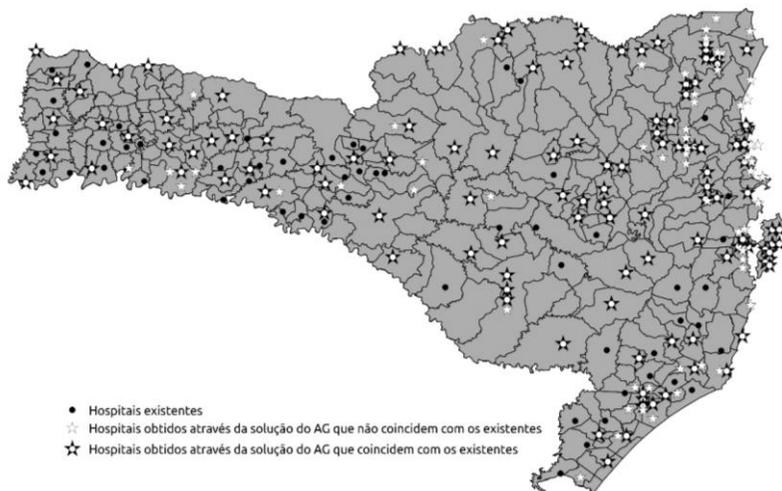
Faixa do nível de acessibilidade	Percentual das zonas
$0,50 < A_i \leq 0,60$	2 %
$0,60 < A_i \leq 0,70$	27 %
$0,70 < A_i \leq 0,80$	45 %
$0,80 < A_i \leq 0,90$	22 %
$0,90 < A_i \leq 1,00$	4 %

6.1.2 Resolução através do algoritmo genético

O problema de p -medianas hierárquico proposto foi resolvido através de um algoritmo genético cujos procedimentos utilizados foram apresentados na seção 5.5.1.

A Figura 6.5 mostra a distribuição espacial das unidades hospitalares obtidas após a solução do problema através do uso do algoritmo genético. Na Figura 6.5 é possível observar as unidades que existem atualmente e que não mais existiriam ao se considerar a nova configuração, as unidades que seriam instaladas e as que permaneceriam.

Figura 6.5 – Mapa com a solução do problema de p -medianas hierárquico usando o algoritmo genético, sem distinção entre os níveis hierárquicos



Da observação da Figura 6.5 é possível notar um número maior de hospitais que seriam instalados na região central do estado, também como aconteceu com a solução obtida pelo algoritmo exato. Essa nova distribuição evidencia a carência que existe na região central do estado em termos de atendimento de saúde. Considerando as 181 unidades hospitalares, 122 permaneceram como na distribuição atual, ou seja, cerca de 67% do total de unidades hospitalares.

A Tabela 6.5 mostra os valores máximos e mínimos do indicador de acessibilidade, bem como o valor de β para o resultado do problema de p -medianas hierárquico proposto obtido através do AG, onde inicialmente foi resolvido o problema de localização e posteriormente calculado o indicador de acessibilidade.

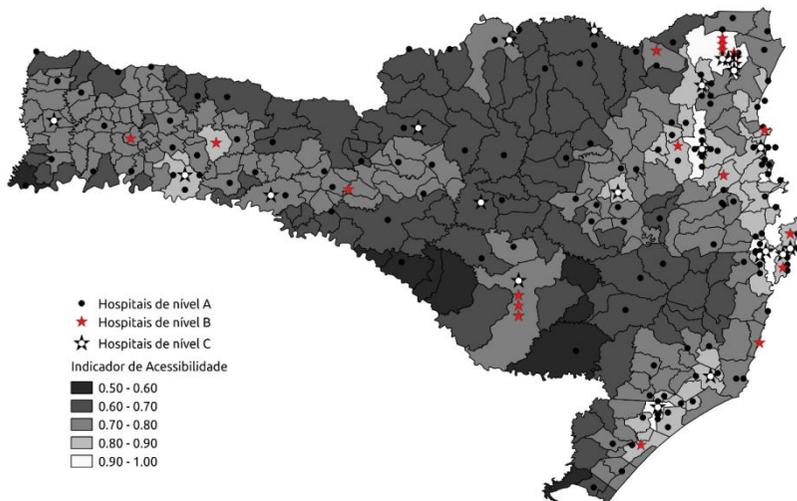
Tabela 6.5 – Indicador de acessibilidade para a distribuição dos hospitais em SC obtida através da solução gerada pelo AG

Indicador de acessibilidade – Resultado do problema de localização através do AG			
	Nível A	Nível B	Nível C
Valor máximo de A_i	0,9321	0,9038	0,9608
Valor mínimo de A_i	0,5310	0,3703	0,4868
Valor de β	0,4303	0,5903	0,4934

Da observação da Tabela 6.5 é possível perceber um ganho em termos de equidade nos níveis B e C, que tratam de atendimento de média e alta complexidade, quando comparados com os valores resultantes da configuração atual – apresentada na Tabela 6.1 – e também quando comparados com a solução exata – diferença menos significativa. O valor de β apresentou uma redução de aproximadamente 13% no caso da análise da equidade nas instalações de nível B e uma diminuição de cerca de 40% no caso das unidades de nível C.

A Figura 6.6 apresenta a área de estudo com a distinção do nível de acessibilidade das zonas consideradas e a distribuição das unidades hospitalares obtida pela solução do algoritmo genético, por nível hierárquico. As áreas mais claras no mapa indicam as zonas com melhores valores para o indicador de acessibilidade, ou seja, são as regiões onde os usuários possuem um melhor acesso aos serviços.

Figura 6.6 – Mapa com a configuração obtida através da solução do problema pelo algoritmo genético, distinguindo os níveis hierárquicos e destacando os diversos níveis de acessibilidade



Da observação da Figura 6.6 é possível perceber que uma melhor distribuição dos hospitais de nível C, quando comparada com a situação atual, se mantém ao resolver o problema usando AG. A distribuição um pouco mais homogênea das unidades hospitalares de nível B é também mantida e as melhorias obtidas em termos de equidade e que foram mostradas na Tabela 6.5 são preservadas.

Na Tabela 6.6, as mesmas faixas estabelecidas para cada nível do indicador de acessibilidade estabelecidas anteriormente foram mantidas e o percentual das 356 zonas que se encontram em cada uma delas é apresentado, para a distribuição obtida através do uso de um AG para resolver o problema. Nota-se que 45% das zonas encontram-se na faixa intermediária, 26% das zonas encontram-se nas faixas com melhor acessibilidade (valores mais elevados), restando 29% localizadas nas faixas com pior acessibilidade (menores valores).

Tabela 6.6 – Percentual das zonas em cada faixa de acessibilidade para a distribuição dos hospitais em SC obtida através do AG

Faixa do nível de acessibilidade	Percentual das zonas
$0,50 < A_i \leq 0,60$	3 %
$0,60 < A_i \leq 0,70$	26 %
$0,70 < A_i \leq 0,80$	45 %
$0,80 < A_i \leq 0,90$	22 %
$0,90 < A_i \leq 1,00$	4 %

Os valores obtidos para o indicador de acessibilidade para a solução alcançada através do algoritmo exato e para o algoritmo genético são muito semelhantes. O percentual de zonas nas faixas intermediária, com pior e com melhor acessibilidade, se manteve igual. O AG demonstrou melhor resultado quando se fez a análise dos valores obtidos para o parâmetro β , indicando que a equidade seria melhor para os usuários que utilizam os serviços hospitalares básicos nessa configuração.

Considerações parciais sobre os resultados obtidos até o presente momento serão apresentadas na seção seguinte.

6.1.3 Considerações parciais

A Tabela 6.7 foi construída para apresentar as faixas estabelecidas para cada nível do indicador de acessibilidade e o percentual das 356 zonas que se encontram em cada uma delas, para os três níveis hierárquicos propostos, para a distribuição atual e para a solução do problema de localização obtida através do algoritmo exato e do AG.

Tabela 6.7 – Comparação do percentual das zonas em cada faixa do nível de acessibilidade das unidades hospitalares em SC

Faixa do nível de acessibilidade	Percentual das zonas Configuração atual			Percentual das zonas Solução algoritmo exato			Percentual das zonas Solução AG		
	Nível			Nível			Nível		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
$0,10 < A_i \leq 0,20$	-	-	2%	-	-	-	-	-	-
$0,20 < A_i \leq 0,30$	-	1%	5%	-	-	-	-	-	-
$0,30 < A_i \leq 0,40$	-	7%	5%	-	1%	2%	-	2%	-
$0,40 < A_i \leq 0,50$	-	11%	-	-	14%	2%	-	9%	2%
$0,50 < A_i \leq 0,60$	1%	27%	2%	3%	29%	-	3%	24%	5%
$0,60 < A_i \leq 0,70$	16%	31%	5%	27%	12%	-	26%	23%	2%
$0,70 < A_i \leq 0,80$	48%	10%	10%	45%	19%	24%	45%	27%	22%
$0,80 < A_i \leq 0,90$	34%	8%	10%	22%	23%	34%	22%	14%	29%
$0,90 < A_i \leq 1,00$	1%	6%	61%	4%	2%	37%	4%	2%	39%

Da observação da Tabela 6.7 é possível notar que a distribuição é relativamente uniforme quando se trata de analisar as unidades hospitalares em nível de atendimento básico. Tanto a configuração atual quanto os testes computacionais realizados apresentam resultados que variam nas mesmas faixas, com valores percentuais semelhantes, estando a maioria das zonas contempladas nas faixas intermediárias para os valores do indicador.

Os ganhos apresentados pelos resultados computacionais aparecem na medida em que investiga-se a localização dos hospitais que prestam serviços de média e alta complexidade (níveis B e C na estrutura hierárquica proposta). A maior parte das zonas estão melhor distribuídas nas faixas de acessibilidade com melhores valores para o indicador (valores mais próximos de um) quando são observados os resultados obtidos através do resultado do algoritmo exato e do AG.

Quando se observa os valores obtidos para o indicador de acessibilidade calculado dada a distribuição das unidades hospitalares de nível B, tem-se, para o caso real, que 24% das zonas estão nas faixas de melhor acessibilidade (valores mais elevados) contra 44% para a solução exata e 43% para a solução obtida através do AG. Quanto às instalações de nível C, 81% encontram-se nas faixas com melhor acessibilidade (valores mais elevados) para o caso atual, 95% para a distribuição dada através da solução do problema através do algoritmo exato e 90% para o caso do problema resolvido através do AG. Salienta-se que, para a configuração obtida através do AG, não há zonas nas faixas de pior acessibilidade, sendo o arranjo que apresentou, até o momento, uma melhor equidade entre os usuários com relação ao acesso aos serviços de saúde.

De posse dos valores dos indicadores de acessibilidade para a configuração atual e para os testes computacionais realizados (tanto pelo algoritmo exato quanto pelo algoritmo genético), o impacto da intervenção sobre a acessibilidade dos usuários e os ganhos para o sistema de saúde em termos de equidade é avaliado – considerando todas as unidades hospitalares de nível A – através do cálculo da relação existente entre o indicador de acessibilidade dos usuários de cada zona i nos testes computacionais e o indicador de acessibilidade dos usuários da mesma zona na situação atual, através da expressão apresentada a seguir (adaptada de ALMEIDA, 1998).

$$RA_i = \frac{A_i^t}{A_i} \quad (6.2)$$

Onde:

- ✓ A_i^t é o valor do indicador de acessibilidade dos usuários da zona i para a nova distribuição espacial apresentada nos testes computacionais realizados;
- ✓ A_i é o valor do indicador de acessibilidade dos usuários da zona i para a configuração atual;
- ✓ RA_i é a relação entre o valor do indicador de acessibilidade dos usuários de cada zona i na distribuição espacial obtida nos testes computacionais realizados e o valor do indicador de acessibilidade dos usuários da mesma zona na situação atual.

Valores de $RA_i \geq 1$ revelam que a acessibilidade dos usuários da zona i na distribuição espacial dos hospitais obtida pelos testes computacionais realizados é igual ou melhor do que a acessibilidade dos mesmos usuários na situação atual. Das 356 zonas consideradas neste estudo, cerca de 35% apresentaram $RA_i < 1$, ou seja, 123 e 122 zonas não apresentaram melhorias em termos de equidade ao relacionar a configuração ótima obtida nos testes computacionais realizados com a situação atual – tanto pelo algoritmo exato quanto pelo algoritmo genético, respectivamente. Em termos populacionais, essas zonas correspondem à aproximadamente 16% da população total do estado de Santa Catarina.

A eficácia do algoritmo genético para aproximação do problema de p -medianas foi comparada com o algoritmo exato, implementado usando o pacote de otimização GLPK versão 4.6. Em todos os ensaios realizados, os resultados se desviaram no máximo em 5% do resultado ótimo, sendo que na maioria das vezes a melhor solução do algoritmo genético coincidiu com o ótimo encontrado pelo referido pacote.

Esse fato coincide com o citado na literatura por Alp, Erkut e Drezner (2003), fato que sugere uma razoável segurança para aceitação das soluções obtidas para o valor de beta (β). Mesmo em problemas de maior porte que o apresentado neste trabalho, Alp, Erkut e Drezner (2003) defendem que o algoritmo preserva a qualidade da solução, sendo, portanto, uma possibilidade para aplicações em regiões mais complexas do que o estado de Santa Catarina. O tempo de processamento, todavia, continua sendo um problema, visto que o número de pesquisas a realizar pelo algoritmo tem alta complexidade.

Como os testes computacionais realizados mostraram, as soluções próximas ao se resolver o problema de localização pelo método exato e

pelo algoritmo genético ensinam a utilização do AG para a resolução de versões mais complexas.

Na seção seguinte, os resultados obtidos para a resolução do problema multiobjetivo proposto serão apresentados.

6.2 RESOLUÇÃO DO PROBLEMA MULTIOBJETIVO PROPOSTO

Em problemas de otimização multiobjetivo, deseja-se otimizar (minimizar ou maximizar) simultaneamente um conjunto de objetivos. Normalmente, para esses problemas, não existe uma solução ótima, mas sim uma família de soluções, que não necessitam ser a solução ótima global de nenhum dos objetivos, e a esta família chamamos de conjunto de Pareto ou conjunto ótimo de Pareto e os pontos correspondentes no espaço dos objetivos são chamados de frente ou fronteira de Pareto. Um ponto viável no espaço objetivo pertence à fronteira de Pareto se nenhum dos objetivos pode ser melhorado ainda mais sem piorar qualquer dos outros objetivos. Qualquer solução do conjunto de Pareto pode ser usada e é tarefa do gestor escolher qual será implementada, baseado na própria fronteira de Pareto ou outros fatores.

Muitos dos trabalhos dedicados à localização de unidades de prestação de serviço na literatura se restringem a encontrar uma solução ótima, em relação a um determinado modelo, e a seguir avaliam a equidade através de um indicador de acessibilidade, que serve como uma medida de comparação (WANG, 2012; CIRINO *et al.*, 2016). Em outras palavras, a localização é determinada *a priori* e a acessibilidade é verificada *a posteriori*.

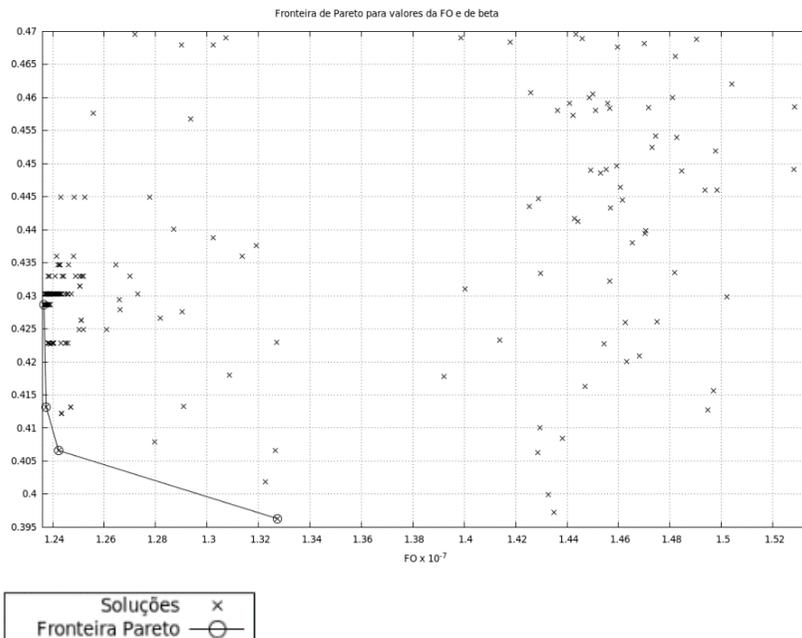
Ao contrário, no presente trabalho, propõe-se um modelo que incorpora um indicador de acessibilidade de forma a restringir a solução a limites máximo e mínimo de acessibilidade. O modelo proposto, portanto, não visa obter a solução de menor custo para o Estado para a implantação de um serviço, mas de obter um resultado próximo da solução de menor custo que carregue consigo uma melhoria significativa de acessibilidade. Pode-se dizer, logo, que algumas ineficiências são inseridas no modelo visando a dar maior acessibilidade ao conjunto de usuários, fazendo com que o alcance do serviço aumente sem custos adicionados que tornem o projeto de implantação inviável economicamente.

Diante desse contexto, propôs-se uma distribuição espacial hierárquica das unidades hospitalares de forma que o valor da soma das distâncias percorridas pelos usuários para alcançar as instalações prestadoras de serviço fosse minimizada e a diferença entre as zonas

mais acessíveis das menos acessíveis fosse reduzida, possibilitando direcionar os investimentos no sentido de proporcionar equidade entre as diferentes áreas da região considerada no que se refere ao nível de acessibilidade.

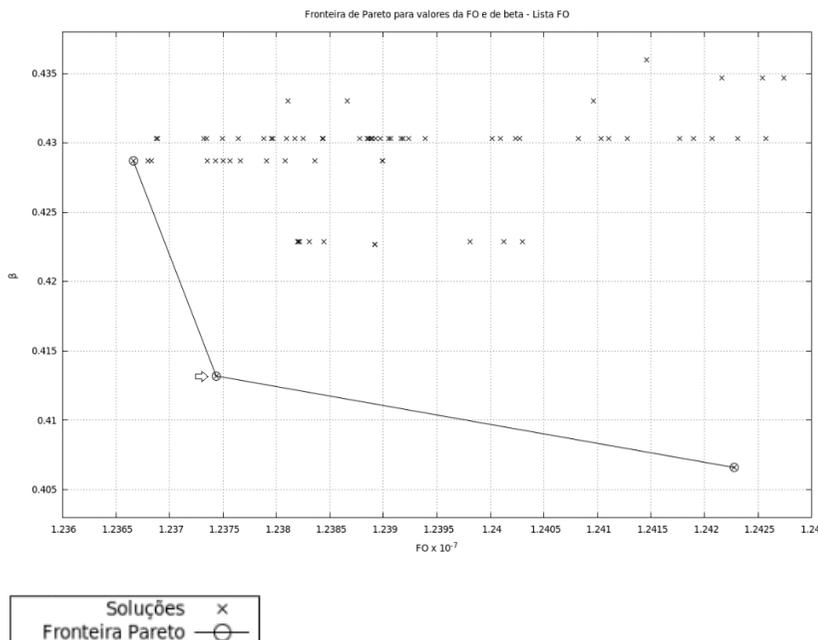
A tarefa de decidir qual é a solução ótima do problema considerando multiobjetividade não é simples, então propôs-se um algoritmo que insere perturbações utilizando as características do algoritmo genético, que cria listas adicionais com os melhores resultados de objetivos diferentes, tendo por norte um determinado objetivo. Os procedimentos utilizados para resolver o problema referido foram expostos na seção 5.5 e os resultados obtidos serão apresentados a seguir.

O conjunto de soluções obtidas na primeira etapa de resolução do problema de localização hierárquico é apresentado na Figura 6.7. A fronteira de Pareto, representada pelo conjunto de pontos ligados por uma linha, foi construída através da análise visual das soluções obtidas. Figura 6.7 – Fronteira de Pareto para os valores da função objetivo e de beta obtidos na primeira etapa de resolução do problema hierárquico de localização



A Figura 6.8 foi construída para destacar os pontos que formam a fronteira de Pareto, gerada na primeira etapa da resolução do problema de localização hierárquico. Na função de decisor, após ser feita a análise das possibilidades de solução, escolheu-se o ponto indicado através da seta na Figura 6.8.

Figura 6.8 – Destaque na Fronteira de Pareto para os valores da função objetivo e de beta obtidos na primeira etapa de resolução do problema hierárquico de localização

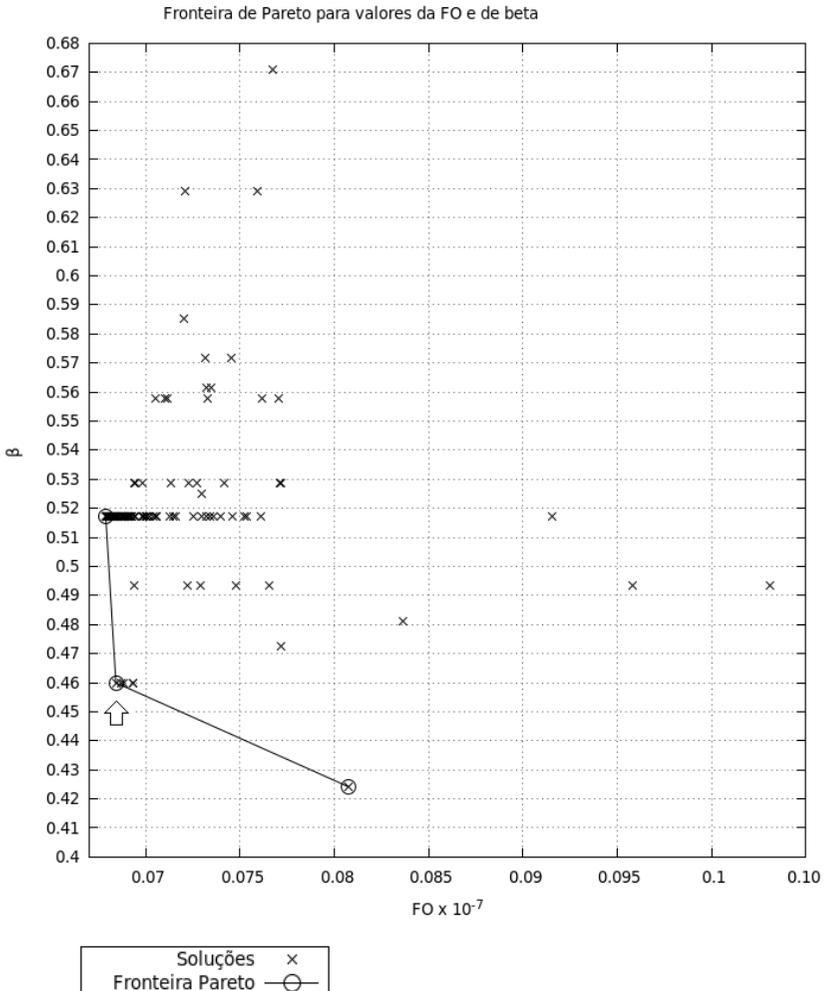


De posse da solução para a primeira etapa na resolução do problema de localização hierárquico, o programa foi rodado uma outra vez, apenas com os locais selecionados nesta etapa, para que as localizações preliminares das unidades de níveis B e C fossem obtidas. As soluções obtidas nessa segunda etapa estão indicadas na Figura 6.9, na qual a fronteira de Pareto, com o conjunto de soluções possíveis dado o problema multiobjetivo, é apresentada.

Outra vez atuando como decisor, escolheu-se a solução indicada na Figura 6.9 por uma seta, a qual foi utilizada para que o programa fosse executado uma última vez, com o objetivo de determinar a localização definitiva para as instalações hospitalares de nível C.

Os resultados obtidos para as possíveis soluções para a terceira etapa de resolução do problema de localização hierárquico são apresentados na Figura 6.10, bem como a fronteira de Pareto gerada através da análise visual das soluções e o ponto considerado como solução ideal – indicado por uma seta na Figura 6.10 – aqui escolhida como decisão do gestor.

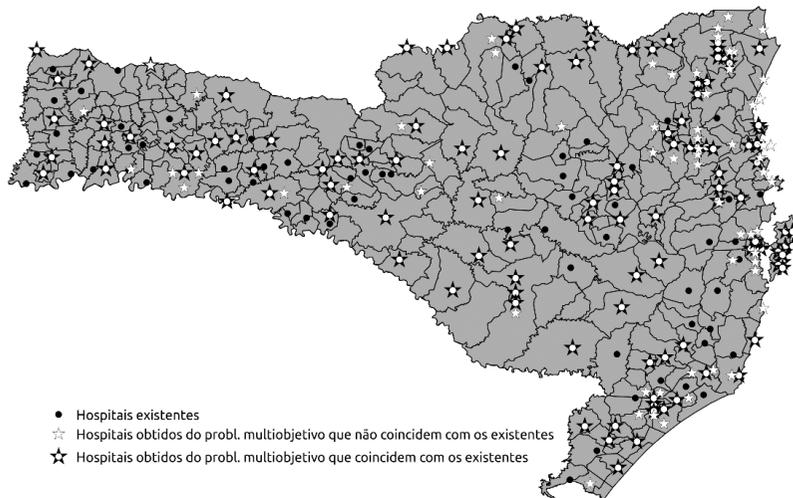
Figura 6.10 – Fronteira de Pareto para os valores da função objetivo e de beta obtidos na terceira etapa de resolução do problema hierárquico de localização



As soluções geradas pelo programa para a resolução do problema de localização hierárquico multiobjetivo, para as três etapas consideradas, são apresentadas no Apêndice A. São expostas também as soluções escolhidas que constituem a nova distribuição espacial das unidades hospitalares para o estado de Santa Catarina, nos três níveis hierárquicos considerados, bem como as zonas medianas e as zonas a elas alocadas, os valores para o parâmetro beta e os valores para o indicador em cada zona.

A Figura 6.11 mostra a distribuição espacial das unidades hospitalares obtidas após a solução do problema multiobjetivo hierárquico. Na figura é possível observar as unidades que existem atualmente e que seriam suprimidas ao se considerar a nova configuração, as novas unidades que seriam instaladas e as que permaneceriam, ou seja, as obtidas na nova distribuição que coincidem com as existentes.

Figura 6.11 – Mapa com a solução do problema multiobjetivo para a localização das unidades hospitalares, sem distinção entre os níveis hierárquicos.



Da observação da Figura 6.11 é possível notar que mais hospitais seriam instalados em todas as regiões do estado, exceto na região do litoral, que teria mais unidades suprimidas. Essa nova distribuição indica a carência que existe na região central e no oeste do estado em termos de atendimento de saúde. Dos 181 hospitais, 115 permaneceram como na

distribuição atual, ou seja, cerca de 63% do total de unidades hospitalares.

A Tabela 6.8 mostra os valores máximos e mínimos do indicador de acessibilidade, bem como o valor de β para o resultado do problema de localização multiobjetivo hierárquico proposto, obtido através do AG.

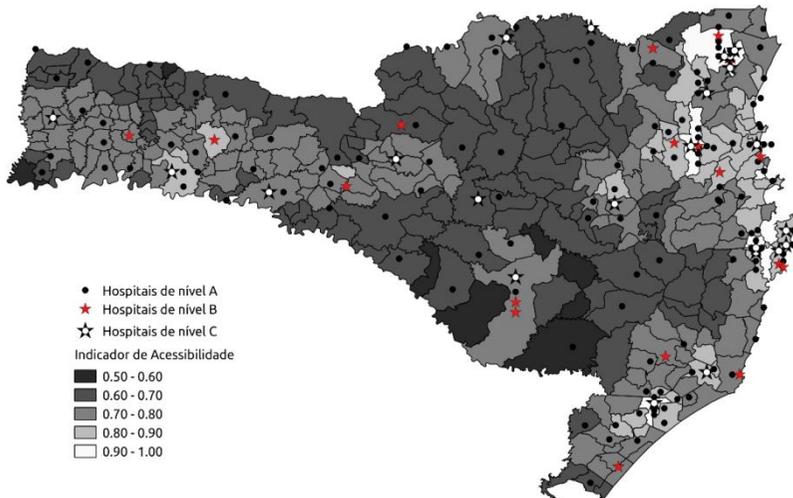
Tabela 6.8 – Indicador de acessibilidade para a distribuição dos hospitais em SC obtida através do problema multiobjetivo

Indicador de acessibilidade – Resultado do problema de localização multiobjetivo			
	Nível A	Nível B	Nível C
Valor máximo de A_i	0,9321	0,9086	0,9531
Valor mínimo de A_i	0,5532	0,3943	0,5148
Valor de β	0,4066	0,5660	0,4599

Da observação da Tabela 6.8 é possível perceber um ganho em termos de equidade nos níveis B e C, que tratam de atendimento de média e alta complexidade, quando comparados com os valores resultantes da configuração atual – apresentados na Tabela 6.1 – e também quando comparados com a solução do problema obtida através da resolução pelo algoritmo exato e pelo AG, que avalia a acessibilidade somente após o problema de localização ser resolvido. Visando a atingir uma melhoria em termos de equidade no acesso aos serviços de saúde, aceitou-se certa ineficiência em termos da redução da distância percorrida pelos usuários do sistema. O valor de β apresentou uma redução de aproximadamente 18% no caso da análise da equidade nas instalações de nível A, cerca de 17% no caso das instalações de nível B e por volta de 44% nas instalações de nível C, com uma diminuição em torno de 12% na distância ponderada percorrida pelos pacientes. Nas instalações hierárquicas mais elevadas obteve-se os melhores resultados em termos de minimização da distância ponderada e da equidade no acesso, indicando a real necessidade de investimentos nesse nível de serviço.

A Figura 6.12 apresenta a área de estudo com a distinção do nível de acessibilidade das zonas consideradas e a distribuição das unidades hospitalares, obtida pela solução do problema de localização multiobjetivo hierárquico. As áreas mais claras no mapa indicam as zonas com melhores valores para o indicador de acessibilidade, onde os usuários dos serviços de saúde possuem um melhor acesso.

Figura 6.12 – Mapa com a configuração obtida através da solução do problema multiobjetivo, distinguindo os níveis hierárquicos e destacando os diversos níveis de acessibilidade



A Tabela 6.9 foi construída para apresentar as faixas estabelecidas para cada nível do indicador de acessibilidade e o percentual das 356 zonas que se encontram em cada uma delas, para os três níveis hierárquicos propostos, para a distribuição espacial das unidades de saúde obtidas através da solução do problema de localização multiobjetivo hierárquico proposto.

Tabela 6.9 – Comparação do percentual das zonas em cada faixa do nível de acessibilidade para os hospitais em SC

Percentual das zonas em cada faixa do nível de acessibilidade			
	Nível A	Nível B	Nível C
$0,10 < A_i \leq 0,20$	-	-	-
$0,20 < A_i \leq 0,30$	-	-	-
$0,30 < A_i \leq 0,40$	-	1%	-
$0,40 < A_i \leq 0,50$	-	10%	-
$0,50 < A_i \leq 0,60$	2%	20%	10%
$0,60 < A_i \leq 0,70$	28%	23%	7%
$0,70 < A_i \leq 0,80$	44%	24%	17%
$0,80 < A_i \leq 0,90$	22%	19%	24%
$0,90 < A_i \leq 1,00$	4%	3%	42%

Da observação da Tabela 6.9 é possível notar que a distribuição atual e a distribuição obtida dado o problema multiobjetivo, para as unidades hospitalares em nível de atendimento básico, mantém valores do indicador de acessibilidade que variam nas faixas intermediárias. Tanto a configuração atual quanto o resultado para o problema de localização multiobjetivo apresentam valores percentuais similares, onde a maioria das zonas estão contempladas nas faixas intermediárias do indicador de acessibilidade.

A relação expressa na equação 6.2 foi calculada para avaliar a configuração obtida na solução do problema de localização multiobjetivo para as unidades hospitalares de nível A. Das 356 zonas consideradas neste estudo, cerca de 33% apresentaram $RA_i < 1$. As 117 zonas que não indicaram melhorias em termos de equidade representam cerca de 15% da população total do estado de Santa Catarina.

Os ganhos apresentados pelo resultado do problema multiobjetivo surgem à medida que a localização dos hospitais que prestam serviços de média e alta complexidade é avaliada. A solução do problema de localização multiobjetivo possui quase a totalidade das zonas pertencentes às faixas de acessibilidade com melhores valores para o indicador.

Os melhores resultados são verificados na disposição dos hospitais de nível C, onde 83% das zonas encontram-se nas faixas com melhor acessibilidade (valores mais elevados). Para o caso das unidades hospitalares de nível B, 46% encontram-se distribuídas nas faixas de melhor acessibilidade. Na configuração obtida para a solução do problema multiobjetivo, não há um número significativo de zonas nas faixas de pior acessibilidade, sendo o arranjo que apresentou melhor equidade entre os usuários com relação ao acesso aos serviços de saúde.

Destaca-se que o uso do indicador de acessibilidade simultaneamente com o problema de localização hierárquico, minimizou a desproporção no acesso aos serviços de saúde prestados à população, garantindo assim o princípio da equidade. As conclusões do trabalho, as contribuições e as recomendações para trabalhos futuros serão expostas no capítulo a seguir.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÕES

Estudos que envolvem localização de instalações hierárquicas em cuidados de saúde são sempre atuais, porque servem como instrumento na tomada de decisão de gestores de sistemas de saúde, permitindo ao administrador analisar alternativas de ação através de testes computacionais para o sistema, propondo possíveis mudanças para a superação de insuficiências encontradas ou pelo menos indicando ações que amenizem as ineficiências constatadas.

Julga-se que o objetivo geral – apresentar um modelo matemático e computacional para apoiar a análise locacional de sistemas de saúde que considera o *trade-off* entre equidade e eficiência em uma rede hierárquica – foi alcançado, obtendo-se contribuições que serão relatadas ao longo deste capítulo.

O embasamento teórico oferecido proporcionou a base para a definição do modelo matemático utilizado, bem como forneceu elementos para construção do modelo proposto. Acredita-se que o modelo matemático utilizado represente a essência do problema real, de tal maneira que os resultados obtidos possam contribuir para que outros pesquisadores embasem ou aprimorem suas pesquisas.

O modelo utilizado no processo de tomada de decisão de localização das unidades de saúde, que procura melhorar também o acesso dos usuários a esses locais através do indicador de acessibilidade, torna o alcance a esses serviços mais equitativo, e pode ser estendida para estudos em outras regiões, para diferentes tipos de serviços, para reduzir ou ampliar as medidas de atratividade consideradas e/ou zonas em estudo, possibilitando a adaptação aos cenários decorrentes do crescimento/decrescimento populacional de certas regiões. O modelo permite a realização de diversos testes computacionais, o que auxilia na redução de ações improvisadas.

Espera-se que a utilização do modelo proposto nesta tese auxilie a tomada de decisão no sentido de que dois ganhos possam ser auferidos pela sociedade: qualidade no serviço prestado – visto que melhora o alcance do sistema – e eficiência na aplicação dos recursos – visto que as unidades serão melhor aproveitadas, gerando benefícios sociais e econômicos.

Dos resultados obtidos, estratégias adequadas podem ser determinadas a fim de estabelecer uma configuração no sistema de saúde

mais próximo dos interesses dos usuários. O modelo proposto corrobora com a interiorização da saúde, tema amplamente discutido atualmente.

Computacionalmente, as heurísticas implementadas demonstraram ser bastante eficientes para a massa de dados aplicada, formada pela dispersão das zonas construídas para representar o conjunto formado pelas unidades de saúde de Santa Catarina. Dispõe-se, logo, de uma ferramenta a mais de auxílio à decisão do gestor, que passa a ter uma alternativa para avaliação e expansão do sistema de prestação do serviço.

Outra análise permite verificar que o uso do indicador de acessibilidade, conjuntamente com o problema de localização hierárquico, reduziu a disparidade no acesso aos serviços prestados.

Enfatiza-se que o princípio da equidade, assegurado a todos os cidadãos e consagrado pela Constituição Federal de 1988 como um dos princípios norteadores do SUS, refere-se ao respaldo oferecido a estes de acordo com as suas prioridades, através da análise da vulnerabilidade de cada caso. Com a equidade, objetiva-se diminuir as diferenças sociais, proporcionando atendimento desigual para necessidades desiguais, caracterizado como o princípio de justiça social e trabalhos no sentido de auxiliar a decisão sobre a aplicação de grandes investimentos, preferencialmente com suporte matemático, ajudam a alicerçar a formação de um cenário sustentável que traga benefícios socioeconômicos a longo prazo.

Quando se considerou apenas o problema de localização, um número um pouco maior de zonas apresentou valores melhores em termos de acessibilidade, porém, a diferença entre os maiores e menores valores foi maior. A inclusão, ou não, da acessibilidade como objetivo simultâneo ao objetivo de minimizar a distância ponderada dependerá do propósito a ser alcançado. Como garantir a equidade é foco desta pesquisa, e por ser a equidade em saúde um importante objetivo da política pública, assume-se a importância do uso do indicador de acessibilidade no modelo de localização.

Atender às necessidades dos usuários e acompanhar as mudanças decorrentes do processo de desenvolvimento, das quais procede a necessidade de novos caminhos e novas técnicas para a solução dos problemas relacionados aos serviços de saúde, é um dos maiores desafios a serem enfrentados pelos pesquisadores. O uso de cenários em testes computacionais permite ampliar ou reduzir o número de unidades de saúde, o que possibilita avaliar o grau de importância de cada zona nessas configurações e como isso afeta a equidade de acesso aos serviços.

7.2 RECOMENDAÇÕES

A análise dos locais onde essas instalações seriam localizadas deve ser feita de forma a avaliar a viabilidade da implantação de novas unidades, ampliação, redução ou readequação das existentes, tal como a revisão dos contratos de prestação de serviços de instituições privadas que atendem pelo SUS.

Uma continuidade recomendada para este estudo é aplicar o modelo proposto em Cirino, Gonçalves e Cursi (2014) e o indicador de acessibilidade aqui utilizado para localizar as unidades hospitalares em todo o estado de Santa Catarina, considerando a rede hierárquica, a fim de mapear a acessibilidade dos usuários, contemplando todos os níveis de atendimento da rede de serviços de saúde, excluindo os prestados pelos postos de saúde, e comparar os resultados com os aqui obtidos.

Pretende-se, ainda, considerar fixas as instalações responsáveis pelo atendimento básico (nível A), conforme a distribuição atual, para avaliar como o modelo se comporta e para realizar testes computacionais visando ampliar o número de instalações de atendimento especializado (níveis B e C) com o intuito de melhorar a equidade e a eficiência do sistema analisado. Assim será possível verificar quais as unidades devem ser incrementadas, por nível de atendimento, com o intuito de melhorar o serviço. Além disso pode-se fazer uso de um modelo capacitado e analisar qual seria a quantidade ótima, segundo o modelo matemático – capacitado e não capacitado –, de hospitais para o estado de Santa Catarina e comparar com a quantidade atual.

Uma averiguação sobre a definição dos pesos atribuídos à separação espacial no modelo de p -medianas, para cada nível hierárquico, merece ser continuada. Ainda que ensaios tenham sido realizados nessa perspectiva, o assunto pode ainda ser esmiuçado.

No que diz respeito ao indicador de acessibilidade, deseja-se inserir aspectos comportamentais no estudo, de forma que as preferências dos usuários sejam também consideradas. A existência de cursos de formação na área da saúde e as especialidades oferecidas por cada unidade, por exemplo, podem ser agregadas como medidas de atratividade do indicador de acessibilidade.

Em termos de mobilidade orgânica: mudanças de demanda no local, no município, no estado, na densidade populacional; seja em virtude de casos de gentrificação ou empobrecimento de regiões, ou outros aspectos que tornem as áreas mais ou menos atrativas para o desenvolvimento econômico, fazem com que este estudo deva ser revisto

de tempos em tempos e seus resultados reavaliados para melhor adequar o sistema analisado à nova realidade.

REFERÊNCIAS

ALLEN, W. B.; LIU, D.; SINGER, S. Accessibility Measures of U.S. Metropolitan Areas. **Transportation Research, Part B: Methodological**, v. 27, n. 6, p. 439-449, 1993.

ALMEIDA, L. M. W. **Desenvolvimento de uma metodologia para a análise locacional de sistemas educacionais usando modelos de interação espacial e indicadores de acessibilidade**. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

ALMEIDA, L. M. W.; GONÇALVES, M. B. Determinação de índices de acessibilidade a serviços escolares. In: XI Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito e Transporte 2000, Gramado, Brasil, **Anais... Engenharia de Tráfego e Transportes 2000: Avanços para uma era de mudanças**, p. 453-465, 2000.

ALMINYANA, M.; BORRAS, F.; PASTOR, J. A new directed branching heuristic for the pq-median problem. **Location Science**, v. 6, n. 1, p. 1-23, 1998.

ALP, O.; ERKUT, E.; DREZNER, Z. An efficient genetic algorithm for the p-median problem. **Annals of Operations Research**, v. 122, n. 1-4, p. 21-42, 2003.

AMORIM, E.; ROMERO, R.; MANTOVANI, J. R. S. Fluxo de potência ótimo descentralizado utilizando algoritmos evolutivos multiobjetivo. **Sba: Controle & Automação**, v. 20, n. 2, p. 217-232, 2009.

ARROYO, J. E. C. **Heurísticas e metaheurísticas para otimização combinatória multiobjetivo**. 227 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

ASSIS, M. M. A.; JESUS, W. L. A. Acesso aos serviços de saúde: abordagens, conceitos, políticas e modelo de análise. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n. 11, p. 2865-75, 2012.

BARAY, J.; CLIQUET, G. Optimizing locations through a maximum covering/p-median hierarchical model: Maternity hospitals in France. **Journal of Business Research**, v. 66, n. 1, p. 127-132, 2013.

BELL, J. E.; GRIFFIS, S. E. CUNNINGHAM, W. A; EBERLAN, J. A. Location optimization of strategic alert sites for homeland defense. **Omega**, p. 151-158, 2011.

BERTRAND, J. W.; FRANSOO, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, p. 241-264, 2002.

BLACK, J.; CONROY, M. Accessibility measures and the social evaluation of urban structure. **Environment and Planning A**, v. 9, n. 9, p. 1013-1031, 1977.

BRACARENSE, L. dos S. F. P.; FERREIRA, J. O. N. Índice proposto para a comparação de acessibilidade dos modos de transporte privado e coletivo. In: XXVIII ANPET - Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes, **Anais...** Curitiba - PR, 2014.

BRAGA NETO, F. C.; BARBOSA, P. R.; SANTOS, I. S. Atenção hospitalar: evolução histórica e tendências. In: GIOVANELLA, Ligia et al. (Org.). **Políticas e sistemas de saúde no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2009. p. 665-704.

BRANAS, C. C.; REVELLE, C. S. An iterative switching heuristic to locate hospitals and helicopters. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 35, n. 1, p. 11-30, 2001.

BRASIL. **Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde**.

Disponível em: <

http://cnes2.datasus.gov.br/Lista_Tot_Es_Municipio.asp?Estado=42&NomeEstado=SANTA%20CATARINA>. Acesso em: 18 jan. 2016 a.

BRASIL. Conselho Nacional de Secretários de Saúde. **Assistência de média e alta complexidade no SUS**. Brasília: Conass, 2007.

BRASIL. Conselho Nacional de Secretários de Saúde. **Conass, SUS 20 anos**. Brasília: Conass, 2009.

BRASIL. **Constituição Federal (1998)**. Disponível em: <

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 30 maio 2016 b.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Política Nacional de Atenção Básica**. Secretaria de Atenção Básica. Portaria n. 2.488, de 21 de outubro de 2011. Disponível em:

<<http://www.brasilsus.com.br/legislacoes/gm/110154->

2488.html?tmpl=component&print=1&page=>. Acesso em: 28 maio 2012.

BRASIL. Ministro de Estado da Saúde. Portaria nº 2.224/GM de 5 de dezembro de 2002. Disponível em:

<<http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2002/Gm/GM-2224.htm>>. Acesso em: 01 abr. 2013.

CALVO, A. B.; MARKS, D. H. Location of health care facilities: an analytical approach. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 7, n. 5, p. 407-422, 1973.

CASTIGLIONI, A. H. Migração: Abordagens Teóricas. In: ARAGÓN, L. (Org.). **Migração internacional na Pan-Amazônia**. Belém: NAEA/UFGPA, 2009.

CHO, C. An equity-efficiency trade-off model for the optimum location of medical care facilities. **Socio-economic Planning Sciences**, v. 32, n. 2, p.99-112, 1998.

CIRINO S.; GONÇALVES L. A.; GONÇALVES M. B.; CURSI E. S.; COELHO A. S. Avaliação de acessibilidade geográfica em sistemas de saúde hierarquizados usando o modelo de p -medianas: aplicação em Santa Catarina, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 32, n. 4, p. 1-11, 2016.

CIRINO, S., LIMA, F. S., GONÇALVES, M. B. Distribuição espacial de serviços especializados em cardiologia no estado de Santa Catarina. **Revista de Saúde Pública**, v. 48, n. 6, p. 916-924, 2014.

CIRINO, S.; GONÇALVES, L. A.; GONÇALVES, M. B. Análise locacional de sistemas de saúde usando um modelo hierárquico combinado de p -medianas. In: XXVII ANPET – Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. **Anais...** Belém (PA): ANPET, 2013.

CIRINO, S.; GONÇALVES, M. B.; CURSI, E. S. Indicador de acessibilidade em modelos de localização: Análise dos hospitais públicos de Santa Catarina. In: XXVIII ANPET - Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes. **Anais...** Curitiba (PR): XXVIII ANPET, 2014.

CORRÊA, R. L. **A rede urbana**. São Paulo: Editora Atica, 1989.

CULYER, A. J.; WAGSTAFF, A. Equity and equality in health and health care. **Journal of health economics**, v. 12, n. 4, p. 431-57, 1993.

CUNHA, A. B. O.; SILVA, L. M. Acessibilidade aos serviços de saúde em um município do Estado da Bahia, Brasil, em gestão plena do sistema. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 26, p. 725-737, 2010.

DASKIN, M. S. **Network and discrete location**: models, algorithms, and applications. Wiley-Interscience, New York, 2011.

DASKIN, M. S. What you should know about location modeling. **Naval Research Logistics (NRL)**, v. 55, n. 4, p. 283-294, 2008.

DASKIN, M. S.; DEAN, L. K. Location of Health Care Facilities. (Chapter 3). In: **The Handbook of OR/MS in Health Care: A Handbook of Methods and Application**, F. Sainfort; M. Brandeau; W. Pierskalla (editors), Kluwer; 43 – 76, 2004.

DE LIMA, J. H.; DE ANDRADE, M. O.; MAIA, M. L. A. Como medir a variação de acessibilidade causada pela implantação de um território gerador de viagens? In: XXVIII ANPET - Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes. **Anais...** Curitiba (PR): XXVIII ANPET, 2014.

DE SOUSA, E. G.; SANTOS, A. C.; ALOISE, D. J. Um procedimento para gerar fronteiras de Pareto ótimas para o problema biobjetivo da árvore geradora de custo e diâmetro mínimos. In: XLV SbpO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. **Anais...** Natal (RN): XLV SBPO, 2013.

ELLOUMI, S; LABBÉ, M.; POCHET, Y. A New Formulation and Resolution Method for the p -Center Problem. **Inform Journal on Computing**. v. 16, n. 1, p. 84–94, 2004.

SCOREL, S.; TEIXEIRA, L. A. História das políticas de saúde no Brasil de 1822 a 1963: do Império ao desenvolvimento populista. In: GIOVANELLA, L. et al. (Org.). **Políticas e sistemas de saúde no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2009. p. 333-384.

ESPEJO, L. G. A.; GALVAO, R. D. Uma aproximação da fronteira eficiente para um problema de localização hierárquico de máxima cobertura. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, 2004.

ESPEJO, L. G. A.; GALVÃO, R. D.; BOFFEY, B. Dual-based heuristics for a hierarchical covering location problem. **Computers & Operations Research**, v. 30, n. 2, p. 165-180, 2003.

FERREIRA, A. S. Competências gerenciais para unidades básicas do Sistema Único de Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 9, p. 69-76, 2004.

GALVÃO, R. D. ; ESPEJO, L. G. A. ; BOFFEY, B. ; YATES, D. Load balancing and capacity constraints in a hierarchical location model. **European Journal of Operational Research**, v. 172, n. 2, p. 631-646, 2006.

GALVÃO, R. D.; ESPEJO, L. G. A.; BOFFEY, B. A hierarchical model for the location of perinatal facilities in the municipality of Rio de Janeiro. **European Journal of Operational Research**, v. 138, n. 3, p. 495-517, 2002.

GALVÃO, R. D.; NOBRE, F. F.; VASCONCELLOS, M. M. Modelos matemáticos de localização aplicados à organização espacial de unidades de saúde. **Revista de Saúde Pública**, v. 33, n. 4, p. 422-434, 1999.

GALVÃO, R. D.; REVELLE, C. A. Lagrangean heuristic for the maximal covering location problem. **European Journal of Operational Research**, v. 88, n. 1, p. 114-123, 1996.

GALVÃO, R.; ESPEJO, L.; BOFFEY, B. Practical aspects associated with location planning for maternal and perinatal assistance in Brazil. **Annals of Operations Research**, v. 143, n. 1, p. 31-44, 2006.

GARCIA, P. B. M., RAIA JR., A. A. Acessibilidade a hospitais públicos. In: ANPET - Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes. **Anais...** Belo Horizonte - MG. Anais do ANPET, 2001.

GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S. **A Guide to the Theory of NP-Completeness**. New York: WH Freeman, 1979.

GERRARD, R. A.; CHURCH, R. L. A generalized approach to modeling the hierarchical maximal covering location problem with referral. **Papers in Regional Science**, v. 73, n. 4, p. 425-453, 1994.

GRIFFIN, E. Testing the von Thunen theory in Uruguay. **Geographical Review**, v. 63, n. 4, p. 500-516, 1973.

HAKIMI, S. L. Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems. **Operations research**, v.13, n. 3, p. 462-475, 1965.

HAKIMI, S. L. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. **Operations research**, v.12, n. 3, p. 450-

459, 1964.

HARVEY, D. The spatial fix–Hegel, von Thunen, And Marx. **Antipode**, v. 13, n. 3, p.1-12, 1981.

HODGSON, M. J.; JACOBSEN, S. A hierarchical location-allocation model with travel based on expected referral distances. **Annals of Operations Research**, v. 167, n. 1, p. 271-286, 2009.

HÖRNER, D. **Resolução do problema das p-medianas não capacitado**: comparação de algumas técnicas heurísticas. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

HORTALE, V. A.; PEDROZA, M.; ROSA, M. L. G. Operacionalizando as categorias acesso e descentralização na análise de sistemas de saúde. **Cadernos de Saúde Pública**. v. 16, n.1, p. 231-239, 2000.

JOSEPH, A. E.; BANTOCK, P. R. Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: a method and case study. **Social science & medicine**, v. 16, n. 1, p. 85-90, 1982.

KOENIG, J. Indicators of urban accessibility: theory and application. **Transportation**, v. 9, n. 2, p. 145-172, 1980.

KONAK, A., COIT, D. W., SMITH, A. E. Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 91, n. 9, p. 992-1007, 2006.

KRASNIK, A. The concept of equity in health services research. **Journal of Public Health**, Scandinavian, v. 24, n. 1, p. 2-7, 1996.

LARSON, R. C., ODoni, A. R. **Urban Operations Research**. London: Prentice Hall, 2007.

LEE, J. M.; LEE, Y. H. Tabu based heuristics for the generalized hierarchical covering location problem. **Computers & Industrial Engineering**, v. 58, n. 4, p. 638-645, 2010.

LIMA, F. S. **Distribuição espacial de serviços especializados em saúde**. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade de Santa Catarina, Florianópolis. 1996.

LIMA, F. S.; GONÇALVES, M. B. Distribuição Espacial de Serviços Especializados de Saúde: uma aplicação prática para o serviço de

Cardiologia em Santa Catarina. In: XXX SBPO. **Anais...** Curitiba, 1998.

LIMA, F. S.; GONÇALVES, M. B. Logística de serviços públicos: uma aplicação à distribuição espacial de serviços especializados de saúde. In: XIII ANPET Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. **Anais...** São Carlos, 1999, p. 482-493.

LOBO, D. S. **Dimensionamento e otimização locacional de unidades de educação infantil**. 142 f. Tese (Doutorado Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

LORA, A. **Acessibilidade aos serviços de saúde**: estudo sobre o tema no enfoque da Saúde da Família no município de Pedreira. 101 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

MAO, L.; NEKORCHUK, D. Measuring spatial accessibility to healthcare for populations with multiple transportation modes. **Health & place**, v. 24, p. 115-122, 2013.

MARTINS, R. A. Abordagens Quantitativa e Qualitativa. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MAYHEW, L. D., LEONARDI, G. Equity, efficiency, and accessibility in urban and regional health-care systems. **Environment and planning A**, v. 14, n. 11, p. 1479-1507, 1982.

MENDES, A. D. C. G.; MIRANDA, G. M. D.; FIGUEIREDO, K. E. G.; DUARTE, P. O.; FURTADO, B. M. A. S.M. Acessibilidade aos serviços básicos de saúde: um caminho ainda a percorrer. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n. 11, p. 2903-2912, 2012.

MENDES, H. W. B.; CALDAS JÚNIOR, A. L. Prática profissional e ética no contexto das políticas de saúde. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 9, n. 3, p. 20-26, 2001.

MESTRE, A.; OLIVEIRA, M.; BARBOSA-PÓVOA, A. Organizing hospitals into networks: a hierarchical and multiservice model to define location, supply and referrals in planned hospital systems. **OR Spectrum**, v. 34, n. 2, p. 319-348, 2012.

MOONAY, G. ; HALL, J. ; DONALDSON, C.; GERARD, K. Utilisation as a measure of equity: weighing heat? **Journal of health economics**, v. 10, n. 4, p. 475-480, 1991.

- MOORE, G. C.; REVELLE, C. The hierarchical service location problem. **Management Science**, v. 28, n. 7, p. 775-780, 1982.
- MORABITO NETO, R.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- MURRAY, A. T.; GERRARD, R. A. Capacitated service and regional constraints in location-allocation modeling. **Location Science**, v. 5, n. 2, p. 103-118, 1997.
- NARULA, S. C. Hierarchical location-allocation problems: a classification scheme. **European Journal of Operational Research**, v. 15, n. 1, p. 93-99, 1984.
- NARULA, S. C. Minisum hierarchical location-allocation problems on a network: A survey. **Annals of Operations Research**, v. 6, p. 255 -272, 1986.
- NARULA, S. C.; OGBU, U. I. An hierarchal location — allocation problem. **Omega**, v. 7, n. 2, p. 137-143, 1979.
- NARULA, S. C.; OGBU, U. I. Lagrangean relaxation and decomposition in an uncapacitated 2-hierarchal location-allocation problem. **Computers & Operations Research**, v. 12, n. 2, p. 169-180, 1985.
- NEGRI FILHO, A., BARBOSA, Z. O papel do hospital na rede de atenção à saúde. Elementos para pensar uma agenda estratégica para o SUS. **Revista Consensus**. v. 11, abril/maio/junho de 2014. Disponível em: <<http://www.conass.org.br/consensus/armando-de-negri-o-papel-hospital-na-rede-de-atencao-saude/>> Acesso em: 13 de abril de 2016.
- NEUTENS, T. Accessibility, equity and health care: review and research directions for transport geographers. **Journal of Transport Geography**, v. 43, p. 14-27, 2015.
- NEUTENS, T., SCHWANEN, T., WITLOX, F., DE MAEYER, P. Equity of urban service delivery: a comparison of different accessibility measures. **Environment and planning A**, v. 42, n. 7, p. 1613-1635, 2010.
- NOVAES, A. G., ALVARENGA, A. C. **Logística aplicada: suprimento e distribuição física**. São Paulo: Pioneira; 1994.

NUNES, L. F. **Um algoritmo heurístico para a solução de problemas de grande escala de localização de instalações com hierarquias**. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

OLIVEIRA, L. S.; ALMEIDA, L. G. N.; OLIVEIRA, M. A. S.; GIL, G. B.; CUNHA, A. B. O.; MEDINA, M. G.; PEREIRA, R. A. G. Acessibilidade a atenção básica em um distrito sanitário de Salvador. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n. 11, 2012.

OLIVIER, A.; MOSSIALOS, E. Equity of access to health care: outlining the foundations for action. **Journal of Epidemiology and Community Health**, v. 58, n. 8, p. 655-658, 2004.

PINTO, V. P. T.; TEIXEIRA, A. H.; SANTOS, P. R.; DE ARAÚJO, M. W. A.; GOMES MOREIRA, M.Á.; MOURA SARAIVA, S. R. Avaliação da acessibilidade ao Centro de Especialidades Odontológicas de abrangência macrorregional de Sobral, Ceará, Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 19, n. 7, p. 2235-2244, 2014.

PIRIE, G. H. Measuring accessibility: a review and proposal. **Environment and Planning A**, v. 11, n. 3, p. 299-312, 1979.

PIZZOLATO, N. D.; RAUPP, F. M. P.; ALZAMORA, G. S. Revisão de desafios aplicados em localização com base em modelos da p-mediana e suas variantes. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 13-42, 2012.

POOLER, J. A. The Use of Spatial Separation in the Measurement of Transportation Accessibility. **Transportation Research Part A**, v. 29A, n. 6, p. 421-427, 1995.

RAHMAN, S. U.; SMITH, D. K. Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations. **European Journal of Operational Research**, v. 123, n. 3, p. 437-452, 2000.

RAIA JR, A. A. Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas. 212 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

RAIA JR, A. A.; SILVA, A. N. R; BRONDINO, N. C. M. Comparação entre Medidas de Acessibilidade para Aplicação em Cidades Brasileiras de Médio Porte. In: XI ANPET –Congresso de Pesquisa e Ensino em

Transportes, **Anais...** Rio de Janeiro: XI ANPET, 1997, v. 2, p. 997-1008.

RAIS, A.; VIANA, A. Operations Research in Healthcare: a survey. **International Transactions in Operational Research**, v. 18, p. 1-31, 2010.

REZENDE, F. A. V. S.; ALMEIDA, R. M. V.; NOBRE, F. F. Diagramas de Voronói para a definição de áreas de abrangência de hospitais públicos no Município do Rio de Janeiro. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.16, p. 467 - 475, 2000.

SANTA CATARINA (Estado) Secretaria de Estado da Saúde. **Plano Estadual de Educação Permanente em Saúde, Santa Catarina, Brasil, 2010 – 2013**. Florianópolis: IOESC, 2009.

SANTA CATARINA (Estado) Secretaria de Estado da Saúde. Sistema Único de Saúde. **Plano diretor de regionalização: PDR 2008**. Florianópolis: IOESC, 2008.

SANTA CATARINA (Estado). Lei nº 16.795, de 16 de Dezembro de 2015. Disponível em: <200.192.66.20/alesc/docs/2015/16795_2015_lei.doc>. Acesso em: 16 maio 2016.

SANTA CATARINA (Estado). Secretaria de Estado da Saúde. **Sistema Único de Saúde. Plano diretor de regionalização: PDR 2012** [recurso eletrônico]. Florianópolis: IOESC, 2012.

SAVIGEAR, F. A quantitative measure of accessibility. **Town Planning Review**, v. 38, n. 1, p. 64-72, 1967.

SCARPIN, C. T., STEINER, M. T. A., DIAS, G. J. C. Técnicas da Pesquisa Operacional Aplicadas na Otimização do Fluxo de Pacientes do Sistema Único de Saúde do Estado do Paraná. In: XXXVIII SBPO – Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. **Anais...** Goiânia (GO), Brasil, 2006.

SHIMBEL, A. Structural parameters of communication networks. **The bulletin of mathematical biophysics**, v. 15, n. 4, p. 501-507, 1953.

SILVOSO, Marcos Martinez. **Otimização da fase construtiva de estruturas de concreto em face dos efeitos da hidratação via algoritmos genéticos**. 169 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

SIVANANDAM, S.N., DEEPA, S. N. **Introduction to Genetic Algorithms**. New York: Springer, 2008.

SOUZA, J.C. **Dimensionamento, localização e escalonamento temporal de serviços de Emergência**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade de Santa Catarina, Florianópolis. 1996.

STEGMAN, M. A. Accessibility models and residential location. **Journal of the American Institute of Planners**, v. 35, n. 1, p. 22-29, 1969.

STERMAN, J. D. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. Irwin/McGraw-Hill Boston, 2000.

STEWART, J. Q. ; WARNTZ, W. Physics of population distribution. **Journal of regional science**, v. 1, n. 1, p. 99-121, 1958.

SWERSEY, A. J. The deployment of police, fire and emergency medical units. In: POLLOCK, S. M.; ROTHKOPF, M. H.; BARNETT. A. (Org.). **Operations research and the public sector** (Handbooks in Operations Research and Management Science, 6). Amsterdam; North-Holland, p. 151-200, 1994.

TALLEN, E.; ANSELIN, L. Assessing spatial equity: an evaluation of measures of accessibility to public playgrounds. **Environment and Planning A**, v. 30, n. 4, p. 595-613, 1998.

TLAHIG, H.; JEBALI, A.; BOUCHRIHA, H.; LADET, P. Centralized versus distributed sterilization service: A location–allocation decision model. **Operations Research for Health Care**. v. 2, n. 4, p. 75-85, 2013.

TRAVASSOS, C.; MARTINS, M. Uma revisão sobre os conceitos de acesso e utilização de serviços de saúde. **Cadernos de Saúde Pública**. v. 20, n. Sup 2: p. S190-S98, 2004.

UNGLERT, C. V. S. O enfoque da acessibilidade no planejamento da localização e dimensão de serviços de saúde. **Revista de Saúde Pública**, v. 24, p. 445-452, 1990.

VERTER, V.; LAPIERRE, S. D. Location of Preventive Healthcare Facilities. **Annals of Operations Research**, v. 110, n. 1-4, p. 123-132, 2002.

VICKERMAN, R. W. Accessibility, attraction, and potential: a review

of some concepts and their use in determining mobility. **Environment and Planning A**, v. 6, n.6, p. 675-691, 1974.

WANG, F. Measurement, optimization, and impact of health care accessibility: a methodological review. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 102, n. 5, p. 1104-1112, 2012.

YIANNAKOULIAS, N.; BLAND, W.; SVENSON, L. W. Estimating the effect of turn penalties and traffic congestion on measuring spatial accessibility to primary health care. **Applied Geography**, v. 39, p. 172-182, 2013.

ZHANG, Y.; BERMAN, O.; VERTER, V. Incorporating congestion in preventive health care facility network design. **European Journal of Operational Research**, v. 198, n. 3, p. 922-935, 2009.

APÊNDICE A - SOLUÇÕES GERADAS PELO PROGRAMA PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO HIERÁRQUICO MULTIOBJETIVO

SOLUÇÃO OBTIDA PARA A ETAPA 1

Análise da solução aplicada: ../data/SolucaoAtual_Analise.dat

Leitura do arquivo:

FO = 1.24321e+07

Beta = 0.406562

DP = 0.0820109

Cidades de cada mediana

Cidade Mediana (1) com posição: 2-ABELARDO LUZ, com 1 cidade mediana: (2-ABELARDO LUZ com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (2) com posição: 3-AGROLANDIA, com 5 cidades medianas: (3-AGROLANDIA com acessibilidade: 0.664748), (25-ATALANTA com acessibilidade: 0.660082), (49-BOCAINA DO SUL com acessibilidade: 0.685002), (231-OTACILIO COSTA com acessibilidade: 0.773457), (250-PETROLANDIA com acessibilidade: 0.655775),

Cidade Mediana (3) com posição: 5-AGUA DOCE, com 1 cidade mediana: (5-AGUA DOCE com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (4) com posição: 6-AGUAS DE CHAPECO, com 4 cidades medianas: (6-AGUAS DE CHAPECO com acessibilidade: 0.664748), (79-CAXAMBU DO SUL com acessibilidade: 0.660082), (254-PLANALTO ALEGRE com acessibilidade: 0.685002), (297-SAO CARLOS com acessibilidade: 0.773457),

Cidade Mediana (5) com posição: 8-AGUAS MORNAS, com 5 cidades medianas: (8-AGUAS MORNAS com acessibilidade: 0.664748), (12-ANGELINA com acessibilidade: 0.660082), (14-ANITAPOLIS com acessibilidade: 0.685002), (268-RANCHO QUEIMADO com acessibilidade: 0.773457), (296-SAO BONIFACIO com acessibilidade: 0.655775),

Cidade Mediana (6) com posição: 9-ALFREDO WAGNER, com 1 cidade mediana: (9-ALFREDO WAGNER com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (7) com posição: 13-ANITA GARIBALDI, com 4 cidades medianas: (1-ABDON BATISTA com acessibilidade: 0.664748), (13-ANITA GARIBALDI com acessibilidade: 0.660082), (80-CELSO RAMOS com acessibilidade: 0.685002), (81-CERRO NEGRO com acessibilidade: 0.773457),

Cidade Mediana (8) com posicao: 15-ANTONIO CARLOS, com 2 cidades medianas: (15-ANTONIO CARLOS com acessibilidade: 0.664748), (318-SAO PEDRO DE ALCANTARA com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (9) com posicao: 19-ARARANGUA 1, com 4 cidades medianas: (19-ARARANGUA 1 com acessibilidade: 0.664748), (20-ARARANGUA 2 com acessibilidade: 0.660082), (27-BALNEARIO ARROIO DO SILVA com acessibilidade: 0.685002), (210-MARACAJA com acessibilidade: 0.773457),

Cidade Mediana (10) com posicao: 24-ASCURRA, com 3 cidades medianas: (16-APIUNA com acessibilidade: 0.664748), (24-ASCURRA com acessibilidade: 0.660082), (279-RODEIO com acessibilidade: 0.685002),

Cidade Mediana (11) com posicao: 28-BALNEARIO BARRA DO SUL, com 2 cidades medianas: (18-ARAQUARI com acessibilidade: 0.664748), (28-BALNEARIO BARRA DO SUL com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (12) com posicao: 29-BALNEARIO CAMBORIU 1, com 1 cidades medianas: (29-BALNEARIO CAMBORIU 1 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (13) com posicao: 30-BALNEARIO CAMBORIU 2, com 1 cidades medianas: (30-BALNEARIO CAMBORIU 2 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (14) com posicao: 31-BALNEARIO CAMBORIU 3, com 1 cidades medianas: (31-BALNEARIO CAMBORIU 3 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (15) com posicao: 36-BARRA VELHA, com 2 cidades medianas: (36-BARRA VELHA com acessibilidade: 0.664748), (302-SAO JOAO DO ITAPERIU com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (16) com posicao: 37-BELA VISTA DO TOLDO, com 2 cidades medianas: (37-BELA VISTA DO TOLDO com acessibilidade: 0.664748), (209-MAJOR VIEIRA com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (17) com posicao: 39-BENEDITO NOVO, com 2 cidades medianas: (39-BENEDITO NOVO com acessibilidade: 0.664748), (105-DOUTOR PEDRINHO com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (18) com posicao: 40-BIGUACU 1, com 3 cidades medianas: (40-BIGUACU 1 com acessibilidade: 0.664748), (41-BIGUACU 2 com acessibilidade: 0.660082), (129-GOVERNADOR CELSO RAMOS com acessibilidade: 0.685002),

Cidade Mediana (19) com posicao: 42-BLUMENAU 1, com 1 cidades medianas: (42-BLUMENAU 1 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (20) com posicao: 43-BLUMENAU 2, com 1 cidades medianas: (43-BLUMENAU 2 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (21) com posicao: 44-BLUMENAU 3, com 1 cidades medianas: (44-BLUMENAU 3 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (22) com posicao: 45-BLUMENAU 4, com 1 cidades medianas: (45-BLUMENAU 4 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (23) com posicao: 46-BLUMENAU 5, com 1 cidades medianas: (46-BLUMENAU 5 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (24) com posicao: 47-BLUMENAU 6, com 1 cidades medianas: (47-BLUMENAU 6 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (25) com posicao: 48-BLUMENAU 7, com 1 cidades medianas: (48-BLUMENAU 7 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (26) com posicao: 53-BOM RETIRO, com 1 cidades medianas: (53-BOM RETIRO com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (27) com posicao: 56-BRACO DO NORTE, com 5 cidades medianas: (21-ARMAZEM com acessibilidade: 0.664748), (56-BRACO DO NORTE com acessibilidade: 0.660082), (275-RIO FORTUNA com acessibilidade: 0.685002), (287-SANTA ROSA DE LIMA com acessibilidade: 0.773457), (315-SAO MARTINHO com acessibilidade: 0.655775),
Cidade Mediana (28) com posicao: 59-BRUSQUE 1, com 2 cidades medianas: (59-BRUSQUE 1 com acessibilidade: 0.664748), (132-GUABIRUBA com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (29) com posicao: 60-BRUSQUE 2, com 1 cidades medianas: (60-BRUSQUE 2 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (30) com posicao: 61-BRUSQUE 3, com 1 cidades medianas: (61-BRUSQUE 3 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (31) com posicao: 62-CACADOR 1, com 2 cidades medianas: (62-CACADOR 1 com acessibilidade: 0.664748), (65-CALMON com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (32) com posicao: 63-CACADOR 2, com 1 cidades medianas: (63-CACADOR 2 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (33) com posicao: 66-CAMBORIU 1, com 2 cidades medianas: (66-CAMBORIU 1 com acessibilidade: 0.664748), (67-CAMBORIU 2 com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (34) com posicao: 68-CAMPO ALEGRE, com 1 cidades medianas: (68-CAMPO ALEGRE com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (35) com posicao: 69-CAMPO BELO DO SUL, com 1 cidades medianas: (69-CAMPO BELO DO SUL com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (36) com posicao: 71-CAMPOS NOVOS, com 1 cidades medianas: (71-CAMPOS NOVOS com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (37) com posicao: 72-CANELINHA, com 3 cidades medianas: (72-CANELINHA com acessibilidade: 0.664748), (301-SAO JOAO BATISTA com acessibilidade: 0.660082), (329-TIJUCAS com acessibilidade: 0.685002),

Cidade Mediana (38) com posicao: 73-CANOINHAS 1, com 1 cidades medianas: (73-CANOINHAS 1 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (39) com posicao: 74-CANOINHAS 2, com 1 cidades medianas: (74-CANOINHAS 2 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (40) com posicao: 76-CAPINZAL, com 5 cidades medianas: (76-CAPINZAL com acessibilidade: 0.664748), (150-IPIRA com acessibilidade: 0.660082), (232-OURO com acessibilidade: 0.685002), (253-PIRATUBA com acessibilidade: 0.773457), (356-ZORTEA com acessibilidade: 0.655775),

Cidade Mediana (41) com posicao: 77-CAPIVARI DE BAIXO, com 2 cidades medianas: (77-CAPIVARI DE BAIXO com acessibilidade: 0.664748), (131-GRAVATAL com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (42) com posicao: 78-CATANDUVAS, com 4 cidades medianas: (78-CATANDUVAS com acessibilidade: 0.664748), (168-JABORA com acessibilidade: 0.660082), (263-PRESIDENTE CASTELLO BRANCO com acessibilidade: 0.685002), (348-VARGEM BONITA com acessibilidade: 0.773457),

Cidade Mediana (43) com posicao: 83-CHAPECO 1, com 2 cidades medianas: (83-CHAPECO 1 com acessibilidade: 0.664748), (136-GUATAMBU com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (44) com posicao: 84-CHAPECO 2, com 1 cidades medianas: (84-CHAPECO 2 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (45) com posicao: 85-CHAPECO 3, com 1 cidades medianas: (85-CHAPECO 3 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (46) com posicao: 86-CHAPECO 4, com 1 cidades medianas: (86-CHAPECO 4 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (47) com posicao: 87-COCAL DO SUL, com 3 cidades medianas: (87-COCAL DO SUL com acessibilidade: 0.664748), (221-MORRO DA FUMACA com acessibilidade: 0.660082), (345-URUSSANGA com acessibilidade: 0.685002),

Cidade Mediana (48) com posicao: 88-CONCORDIA 1, com 3 cidades medianas: (10-ALTO BELA VISTA com acessibilidade: 0.664748), (88-CONCORDIA 1 com acessibilidade: 0.660082), (249-PERITIBA com acessibilidade: 0.685002),

Cidade Mediana (49) com posicao: 89-CONCORDIA 2, com 1 cidades medianas: (89-CONCORDIA 2 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (50) com posicao: 91-CORONEL FREITAS, com 5 cidades medianas: (91-CORONEL FREITAS com acessibilidade: 0.664748), (106-ENTRE RIOS com acessibilidade: 0.660082), (212-MAREMA com acessibilidade: 0.685002), (226-NOVA ITABERABA com acessibilidade: 0.773457), (267-QUILOMBO com acessibilidade: 0.655775),

Cidade Mediana (51) com posicao: 93-CORREIA PINTO, com 2 cidades medianas: (93-CORREIA PINTO com acessibilidade: 0.664748), (240-PALMEIRA com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (52) com posicao: 94-CORUPA, com 2 cidades medianas: (94-CORUPA com acessibilidade: 0.664748), (274-RIO DOS CEDROS com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (53) com posicao: 95-CRICIUMA 1, com 1 cidades medianas: (95-CRICIUMA 1 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (54) com posicao: 96-CRICIUMA 2, com 1 cidades medianas: (96-CRICIUMA 2 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (55) com posicao: 97-CRICIUMA 3, com 1 cidades medianas: (97-CRICIUMA 3 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (56) com posicao: 98-CRICIUMA 4, com 1 cidades medianas: (98-CRICIUMA 4 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (57) com posicao: 99-CUNHA PORA, com 3 cidades medianas: (99-CUNHA PORA com acessibilidade: 0.664748), (100-CUNHATAI com acessibilidade: 0.660082), (154-IRACEMINHA com acessibilidade: 0.685002),

Cidade Mediana (58) com posicao: 101-CURITIBANOS, com 1 cidades medianas: (101-CURITIBANOS com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (59) com posicao: 109-FAXINAL DOS GUEDES, com 3 cidades medianas: (109-FAXINAL DOS GUEDES com acessibilidade: 0.664748), (233-OURO VERDE com acessibilidade: 0.660082), (346-VARGEAO com acessibilidade: 0.685002),

Cidade Mediana (60) com posicao: 111-FLORIANOPOLIS 1, com 1 cidades medianas: (111-FLORIANOPOLIS 1 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (61) com posicao: 112-FLORIANOPOLIS 2, com 1 cidades medianas: (112-FLORIANOPOLIS 2 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (62) com posicao: 113-FLORIANOPOLIS 3, com 1 cidades medianas: (113-FLORIANOPOLIS 3 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (63) com posicao: 114-FLORIANOPOLIS 4, com 1 cidades medianas: (114-FLORIANOPOLIS 4 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (64) com posicao: 115-FLORIANOPOLIS 5, com 1 cidades medianas: (115-FLORIANOPOLIS 5 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (65) com posicao: 116-FLORIANOPOLIS 6, com 1 cidades medianas: (116-FLORIANOPOLIS 6 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (66) com posicao: 117-FLORIANOPOLIS 7, com 1 cidades medianas: (117-FLORIANOPOLIS 7 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (67) com posicao: 118-FLORIANOPOLIS 8, com 1 cidades medianas: (118-FLORIANOPOLIS 8 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (68) com posicao: 119-FLORIANOPOLIS 9, com 1 cidades medianas: (119-FLORIANOPOLIS 9 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (69) com posicao: 121-FORQUILHINHA, com 1 cidades medianas: (121-FORQUILHINHA com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (70) com posicao: 122-FRAIBURGO, com 1 cidades medianas: (122-FRAIBURGO com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (71) com posicao: 125-GAROPABA, com 2 cidades medianas: (125-GAROPABA com acessibilidade: 0.664748), (246-PAULO LOPES com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (72) com posicao: 126-GARUVA, com 1 cidades medianas: (126-GARUVA com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (73) com posicao: 127-GASPAR 1, com 1 cidades medianas: (127-GASPAR 1 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (74) com posicao: 128-GASPAR 2, com 1 cidades medianas: (128-GASPAR 2 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (75) com posicao: 134-GUARAMIRIM, com 2 cidades medianas: (134-GUARAMIRIM com acessibilidade: 0.664748), (213-MASSARANDUBA com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (76) com posicao: 137-HERVAL D'OESTE, com 4 cidades medianas: (108-ERVAL VELHO com acessibilidade: 0.664748), (137-HERVAL D'OESTE com acessibilidade: 0.660082), (138-IBIAM com acessibilidade: 0.685002), (139-IBICARE com acessibilidade: 0.773457),

Cidade Mediana (77) com posicao: 140-IBIRAMA, com 2 cidades medianas: (140-IBIRAMA com acessibilidade: 0.664748), (187-JOSE BOITEUX com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (78) com posicao: 141-ICARA 1, com 1 cidades medianas: (141-ICARA 1 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (79) com posicao: 142-ICARA 2, com 1 cidades medianas: (142-ICARA 2 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (80) com posicao: 143-ILHOTA, com 2 cidades medianas: (143-ILHOTA com acessibilidade: 0.664748), (203-LUIZ ALVES com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (81) com posicao: 145-IMBITUBA, com 2 cidades medianas: (144-IMARUI com acessibilidade: 0.664748), (145-IMBITUBA com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (82) com posicao: 147-INDAIAL 1, com 1 cidades medianas: (147-INDAIAL 1 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (83) com posicao: 148-INDAIAL 2, com 1 cidades medianas: (148-INDAIAL 2 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (84) com posicao: 151-IPORA DO OESTE, com 4 cidades medianas: (151-IPORA DO OESTE com acessibilidade: 0.664748), (218-MONDAI com acessibilidade: 0.660082), (278-RIQUEZA com acessibilidade: 0.685002), (286-SANTA HELENA com acessibilidade: 0.773457),

Cidade Mediana (85) com posicao: 153-IPUMIRIM, com 4 cidades medianas: (17-ARABUTA com acessibilidade: 0.664748), (153-IPUMIRIM com acessibilidade: 0.660082), (201-LINDOIA DO SUL com acessibilidade: 0.685002), (354-XAVANTINA com acessibilidade: 0.773457),

Cidade Mediana (86) com posicao: 157-IRINEOPOLIS, com 1 cidades medianas: (157-IRINEOPOLIS com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (87) com posicao: 158-ITA, com 3 cidades medianas: (158-ITA com acessibilidade: 0.664748), (234-PAIAL com acessibilidade: 0.660082), (321-SEARA com acessibilidade: 0.685002),

Cidade Mediana (88) com posicao: 159-ITAIOPOLIS, com 1 cidades medianas: (159-ITAIOPOLIS com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (89) com posicao: 160-ITAJAI 1, com 1 cidades medianas: (160-ITAJAI 1 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (90) com posicao: 161-ITAJAI 2, com 1 cidades medianas: (161-ITAJAI 2 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (91) com posicao: 162-ITAJAI 3, com 1 cidades medianas: (162-ITAJAI 3 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (92) com posicao: 163-ITAJAI 4, com 1 cidades medianas: (163-ITAJAI 4 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (93) com posicao: 164-ITAPEMA, com 1 cidades medianas: (164-ITAPEMA com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (94) com posicao: 166-ITAPOA, com 1 cidades medianas: (166-ITAPOA com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (95) com posicao: 167-ITUPORANGA, com 3 cidades medianas: (26-AURORA com acessibilidade: 0.664748), (82-CHAPADAO DO LAGEADO com acessibilidade: 0.660082), (167-ITUPORANGA com acessibilidade: 0.685002),
Cidade Mediana (96) com posicao: 171-JARAGUA DO SUL 1, com 1 cidades medianas: (171-JARAGUA DO SUL 1 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (97) com posicao: 172-JARAGUA DO SUL 2, com 1 cidades medianas: (172-JARAGUA DO SUL 2 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (98) com posicao: 173-JARAGUA DO SUL 3, com 1 cidades medianas: (173-JARAGUA DO SUL 3 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (99) com posicao: 175-JOACABA, com 3 cidades medianas: (175-JOACABA com acessibilidade: 0.664748), (189-LACERDOPOLIS com acessibilidade: 0.660082), (204-LUZERNA com acessibilidade: 0.685002),
Cidade Mediana (100) com posicao: 176-JOINVILLE 1, com 1 cidades medianas: (176-JOINVILLE 1 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (101) com posicao: 177-JOINVILLE 2, com 1 cidades medianas: (177-JOINVILLE 2 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (102) com posicao: 178-JOINVILLE 3, com 1 cidades medianas: (178-JOINVILLE 3 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (103) com posicao: 179-JOINVILLE 4, com 1 cidades medianas: (179-JOINVILLE 4 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (104) com posicao: 180-JOINVILLE 5, com 1 cidades medianas: (180-JOINVILLE 5 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (105) com posicao: 181-JOINVILLE 6, com 1 cidades medianas: (181-JOINVILLE 6 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (106) com posicao: 182-JOINVILLE 7, com 1 cidades medianas: (182-JOINVILLE 7 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (107) com posicao: 183-JOINVILLE 8, com 1 cidades medianas: (183-JOINVILLE 8 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (108) com posicao: 184-JOINVILLE 9, com 1 cidades medianas: (184-JOINVILLE 9 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (109) com posicao: 185-JOINVILLE 10, com 1 cidades medianas: (185-JOINVILLE 10 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (110) com posicao: 186-JOINVILLE 11, com 1 cidades medianas: (186-JOINVILLE 11 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (111) com posicao: 190-LAGES 1, com 3 cidades medianas: (75-CAPAO ALTO com acessibilidade: 0.664748), (190-LAGES 1 com acessibilidade: 0.660082), (235-PAINEL com acessibilidade: 0.685002),
Cidade Mediana (112) com posicao: 191-LAGES 2, com 1 cidades medianas: (191-LAGES 2 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (113) com posicao: 192-LAGES 3, com 1 cidades medianas: (192-LAGES 3 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (114) com posicao: 193-LAGES 4, com 1 cidades medianas: (193-LAGES 4 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (115) com posicao: 194-LAGUNA 1, com 1 cidades medianas: (194-LAGUNA 1 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (116) com posicao: 195-LAGUNA 2, com 1 cidades medianas: (195-LAGUNA 2 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (117) com posicao: 198-LAURO MULLER, com 2 cidades medianas: (50-BOM JARDIM DA SERRA com acessibilidade: 0.664748), (198-LAURO MULLER com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (118) com posicao: 199-LEBON REGIS, com 2 cidades medianas: (199-LEBON REGIS com acessibilidade: 0.664748), (332-TIMBO GRANDE com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (119) com posicao: 206-MAFRA 1, com 1 cidades medianas: (206-MAFRA 1 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (120) com posicao: 207-MAFRA 2, com 1 cidades medianas: (207-MAFRA 2 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (121) com posicao: 211-MARAVILHA, com 4 cidades medianas: (52-BOM JESUS DO OESTE com acessibilidade: 0.664748), (211-MARAVILHA com acessibilidade: 0.660082), (316-SAO MIGUEL DA BOA VISTA com acessibilidade: 0.685002), (328-TIGRINHOS com acessibilidade: 0.773457),
Cidade Mediana (122) com posicao: 215-MELEIRO, com 1 cidades medianas: (215-MELEIRO com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (123) com posicao: 219-MONTE CARLO, com 4 cidades medianas: (58-BRUNOPOLIS com acessibilidade: 0.664748),

(123-FREI ROGERIO com acessibilidade: 0.660082), (219-MONTE CARLO com acessibilidade: 0.685002), (347-VARGEM com acessibilidade: 0.773457),
Cidade Mediana (124) com posicao: 223-NAVEGANTES 1, com 3 cidades medianas: (33-BALNEARIO PICARRAS com acessibilidade: 0.664748), (223-NAVEGANTES 1 com acessibilidade: 0.660082), (224-NAVEGANTES 2 com acessibilidade: 0.685002),
Cidade Mediana (125) com posicao: 227-NOVA TRENTO, com 3 cidades medianas: (55-BOTUVERA com acessibilidade: 0.664748), (208-MAJOR GERCINO com acessibilidade: 0.660082), (227-NOVA TRENTO com acessibilidade: 0.685002),
Cidade Mediana (126) com posicao: 230-ORLEANS, com 2 cidades medianas: (130-GRAO PARA com acessibilidade: 0.664748), (230-ORLEANS com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (127) com posicao: 236-PALHOCA 1, com 2 cidades medianas: (236-PALHOCA 1 com acessibilidade: 0.664748), (292-SANTO AMARO DA IMPERATRIZ com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (128) com posicao: 237-PALHOCA 2, com 1 cidades medianas: (237-PALHOCA 2 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (129) com posicao: 238-PALHOCA 3, com 1 cidades medianas: (238-PALHOCA 3 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (130) com posicao: 239-PALMA SOLA, com 2 cidades medianas: (70-CAMPO ERE com acessibilidade: 0.664748), (239-PALMA SOLA com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (131) com posicao: 241-PALMITOS, com 2 cidades medianas: (64-CAIBI com acessibilidade: 0.664748), (241-PALMITOS com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (132) com posicao: 242-PAPANDUVA, com 2 cidades medianas: (220-MONTE CASTELO com acessibilidade: 0.664748), (242-PAPANDUVA com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (133) com posicao: 248-PENHA, com 1 cidades medianas: (248-PENHA com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (134) com posicao: 251-PINHALZINHO, com 9 cidades medianas: (7-AGUAS FRIAS com acessibilidade: 0.664748), (174-JARDINOPOLIS com acessibilidade: 0.660082), (217-MODELO com acessibilidade: 0.685002), (225-NOVA ERECHIM com acessibilidade: 0.773457), (251-PINHALZINHO com acessibilidade: 0.655775), (319-SAUDADES com acessibilidade: 0.720796), (322-SERRA ALTA com acessibilidade: 0.697433), (325-SUL BRASIL com acessibilidade: 0.675259), (342-UNIAO DO OESTE com acessibilidade: 0.679942),

Cidade Mediana (135) com posicao: 255-POMERODE, com 1 cidades medianas: (255-POMERODE com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (136) com posicao: 258-PONTE SERRADA, com 3 cidades medianas: (155-IRANI com acessibilidade: 0.664748), (245-PASSOS MAIA com acessibilidade: 0.660082), (258-PONTE SERRADA com acessibilidade: 0.685002),
Cidade Mediana (137) com posicao: 259-PORTO BELO, com 2 cidades medianas: (54-BOMBINHAS com acessibilidade: 0.664748), (259-PORTO BELO com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (138) com posicao: 260-PORTO UNIAO, com 2 cidades medianas: (214-MATOS COSTA com acessibilidade: 0.664748), (260-PORTO UNIAO com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (139) com posicao: 264-PRESIDENTE GETULIO, com 2 cidades medianas: (104-DONA EMMA com acessibilidade: 0.664748), (264-PRESIDENTE GETULIO com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (140) com posicao: 272-RIO DO SUL 1, com 3 cidades medianas: (197-LAURENTINO com acessibilidade: 0.664748), (202-LONTRAS com acessibilidade: 0.660082), (272-RIO DO SUL 1 com acessibilidade: 0.685002),
Cidade Mediana (141) com posicao: 273-RIO DO SUL 2, com 1 cidades medianas: (273-RIO DO SUL 2 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (142) com posicao: 276-RIO NEGRINHO, com 1 cidades medianas: (276-RIO NEGRINHO com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (143) com posicao: 280-ROMELANDIA, com 4 cidades medianas: (11-ANCHIETA com acessibilidade: 0.664748), (110-FLOR DO SERTAIO com acessibilidade: 0.660082), (280-ROMELANDIA com acessibilidade: 0.685002), (290-SANTA TEREZINHA DO PROGRESSO com acessibilidade: 0.773457),
Cidade Mediana (144) com posicao: 281-SALETE, com 5 cidades medianas: (270-RIO DO CAMPO com acessibilidade: 0.664748), (281-SALETE com acessibilidade: 0.660082), (326-TAIO com acessibilidade: 0.685002), (351-VITOR MEIRELES com acessibilidade: 0.773457), (352-WITMARSUM com acessibilidade: 0.655775),
Cidade Mediana (145) com posicao: 284-SANGAO, com 3 cidades medianas: (170-JAGUARUNA com acessibilidade: 0.664748), (284-SANGAO com acessibilidade: 0.660082), (335-TREZE DE MAIO com acessibilidade: 0.685002),

Cidade Mediana (146) com posicao: 285-SANTA CECILIA, com 1 cidades medianas: (285-SANTA CECILIA com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (147) com posicao: 289-SANTA TEREZINHA, com 1 cidades medianas: (289-SANTA TEREZINHA com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (148) com posicao: 293-SAO BENTO DO SUL 1, com 1 cidades medianas: (293-SAO BENTO DO SUL 1 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (149) com posicao: 294-SAO BENTO DO SUL 2, com 1 cidades medianas: (294-SAO BENTO DO SUL 2 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (150) com posicao: 298-SAO CRISTOVAO DO SUL, com 4 cidades medianas: (216-MIRIM DOCE com acessibilidade: 0.664748), (256-PONTE ALTA com acessibilidade: 0.660082), (257-PONTE ALTA DO NORTE com acessibilidade: 0.685002), (298-SAO CRISTOVAO DO SUL com acessibilidade: 0.773457),

Cidade Mediana (151) com posicao: 299-SAO DOMINGOS, com 5 cidades medianas: (92-CORONEL MARTINS com acessibilidade: 0.664748), (124-GALVAO com acessibilidade: 0.660082), (152-IPUACU com acessibilidade: 0.685002), (291-SANTIAGO DO SUL com acessibilidade: 0.773457), (299-SAO DOMINGOS com acessibilidade: 0.655775),

Cidade Mediana (152) com posicao: 300-SAO FRANCISCO DO SUL, com 1 cidades medianas: (300-SAO FRANCISCO DO SUL com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (153) com posicao: 303-SAO JOAO DO OESTE, com 3 cidades medianas: (165-ITAPIRANGA com acessibilidade: 0.664748), (303-SAO JOAO DO OESTE com acessibilidade: 0.660082), (340-TUNAPOLIS com acessibilidade: 0.685002),

Cidade Mediana (154) com posicao: 304-SAO JOAO DO SUL, com 3 cidades medianas: (244-PASSO DE TORRES com acessibilidade: 0.664748), (262-PRAIA GRANDE com acessibilidade: 0.660082), (304-SAO JOAO DO SUL com acessibilidade: 0.685002),

Cidade Mediana (155) com posicao: 305-SAO JOAQUIM, com 2 cidades medianas: (305-SAO JOAQUIM com acessibilidade: 0.664748), (344-URUPEMA com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (156) com posicao: 306-SAO JOSE 1, com 1 cidades medianas: (306-SAO JOSE 1 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (157) com posicao: 307-SAO JOSE 2, com 1 cidades medianas: (307-SAO JOSE 2 com acessibilidade: 0.664748),

Cidade Mediana (158) com posicao: 308-SAO JOSE 3, com 1 cidades medianas: (308-SAO JOSE 3 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (159) com posicao: 309-SAO JOSE 4, com 1 cidades medianas: (309-SAO JOSE 4 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (160) com posicao: 310-SAO JOSE 5, com 1 cidades medianas: (310-SAO JOSE 5 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (161) com posicao: 311-SAO JOSE DO CEDRO, com 5 cidades medianas: (103-DIONISIO CERQUEIRA com acessibilidade: 0.664748), (133-GUARACIABA com acessibilidade: 0.660082), (135-GUARUJA DO SUL com acessibilidade: 0.685002), (266-PRINCESA com acessibilidade: 0.773457), (311-SAO JOSE DO CEDRO com acessibilidade: 0.655775),
Cidade Mediana (162) com posicao: 312-SAO JOSE DO CERRITO, com 1 cidades medianas: (312-SAO JOSE DO CERRITO com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (163) com posicao: 313-SAO LOURENCO DO OESTE, com 7 cidades medianas: (120-FORMOSA DO SUL com acessibilidade: 0.664748), (156-IRATI com acessibilidade: 0.660082), (188-JUPIA com acessibilidade: 0.685002), (229-NOVO HORIZONTE com acessibilidade: 0.773457), (282-SALTINHO com acessibilidade: 0.655775), (295-SAO BERNARDINO com acessibilidade: 0.720796), (313-SAO LOURENCO DO OESTE com acessibilidade: 0.697433),
Cidade Mediana (164) com posicao: 314-SAO LUDGERO, com 2 cidades medianas: (247-PEDRAS GRANDES com acessibilidade: 0.664748), (314-SAO LUDGERO com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (165) com posicao: 317-SAO MIGUEL DO OESTE, com 6 cidades medianas: (34-BANDEIRANTE com acessibilidade: 0.664748), (35-BARRA BONITA com acessibilidade: 0.660082), (38-BELMONTE com acessibilidade: 0.685002), (102-DESCANSO com acessibilidade: 0.773457), (243-PARAISO com acessibilidade: 0.655775), (317-SAO MIGUEL DO OESTE com acessibilidade: 0.720796),
Cidade Mediana (166) com posicao: 320-SCHROEDER, com 1 cidades medianas: (320-SCHROEDER com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (167) com posicao: 323-SIDEROPOLIS, com 3 cidades medianas: (228-NOVA VENEZA com acessibilidade: 0.664748), (323-SIDEROPOLIS com acessibilidade: 0.660082), (334-TREVISO com acessibilidade: 0.685002),
Cidade Mediana (168) com posicao: 324-SOMBRIO, com 4 cidades medianas: (32-BALNEARIO GAIVOTA com acessibilidade: 0.664748), (107-ERMO com acessibilidade: 0.660082), (288-SANTA

ROSA DO SUL com acessibilidade: 0.685002), (324-SOMBRIO com acessibilidade: 0.773457),
Cidade Mediana (169) com posicao: 330-TIMBE DO SUL, com 2 cidades medianas: (222-MORRO GRANDE com acessibilidade: 0.664748), (330-TIMBE DO SUL com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (170) com posicao: 331-TIMBO, com 1 cidades medianas: (331-TIMBO com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (171) com posicao: 333-TRES BARRAS, com 1 cidades medianas: (333-TRES BARRAS com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (172) com posicao: 336-TREZE TILIAS, com 4 cidades medianas: (22-ARROIO TRINTA com acessibilidade: 0.664748), (205-MACIEIRA com acessibilidade: 0.660082), (283-SALTO VELOSO com acessibilidade: 0.685002), (336-TREZE TILIAS com acessibilidade: 0.773457),
Cidade Mediana (173) com posicao: 337-TROMBUDO CENTRAL, com 5 cidades medianas: (4-AGRONOMICA com acessibilidade: 0.664748), (57-BRACO DO TROMBUDO com acessibilidade: 0.660082), (261-POUSO REDONDO com acessibilidade: 0.685002), (271-RIO DO OESTE com acessibilidade: 0.773457), (337-TROMBUDO CENTRAL com acessibilidade: 0.655775),
Cidade Mediana (174) com posicao: 338-TUBARAO 1, com 1 cidades medianas: (338-TUBARAO 1 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (175) com posicao: 339-TUBARAO 2, com 1 cidades medianas: (339-TUBARAO 2 com acessibilidade: 0.664748),
Cidade Mediana (176) com posicao: 341-TURVO, com 2 cidades medianas: (169-JACINTO MACHADO com acessibilidade: 0.664748), (341-TURVO com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (177) com posicao: 343-URUBICI, com 2 cidades medianas: (277-RIO RUFINO com acessibilidade: 0.664748), (343-URUBICI com acessibilidade: 0.660082),
Cidade Mediana (178) com posicao: 349-VIDAL RAMOS, com 4 cidades medianas: (146-IMBUIA com acessibilidade: 0.664748), (200-LEOBERTO LEAL com acessibilidade: 0.660082), (265-PRESIDENTE NEREU com acessibilidade: 0.685002), (349-VIDAL RAMOS com acessibilidade: 0.773457),
Cidade Mediana (179) com posicao: 350-VIDEIRA, com 5 cidades medianas: (149-IOMERE com acessibilidade: 0.664748), (252-PINHEIRO PRETO com acessibilidade: 0.660082), (269-RIO DAS ANTAS com acessibilidade: 0.685002), (327-TANGARA com

acessibilidade: 0.773457), (350-VIDEIRA com acessibilidade: 0.655775),

Cidade Mediana (180) com posicao: 353-XANXERE, com 2 cidades medianas: (51-BOM JESUS com acessibilidade: 0.664748), (353-XANXERE com acessibilidade: 0.660082),

Cidade Mediana (181) com posicao: 355-XAXIM, com 4 cidades medianas: (23-ARVOREDO com acessibilidade: 0.664748), (90-CORDILHEIRA ALTA com acessibilidade: 0.660082), (196-LAJEADO GRANDE com acessibilidade: 0.685002), (355-XAXIM com acessibilidade: 0.773457)

SOLUÇÃO OBTIDA PARA A ETAPA 2

Análise da solução aplicada: ../data/SolucaoAtual_Analise.dat

Leitura do arquivo:

FO = 8.56169e+06

Beta = 0.565996

DP = 0.136379

Cidades de cada mediana

Cidade Mediana (1) com posicao: 13-BALNEARIO CAMBORIU 2, com 5 cidades medianas: (12-BALNEARIO CAMBORIU 1 com acessibilidade: 0.510919), (13-BALNEARIO CAMBORIU 2 com acessibilidade: 0.461709), (14-BALNEARIO CAMBORIU 3 com acessibilidade: 0.492661), (93-ITAPEMA com acessibilidade: 0.531237), (138-PORTO BELO com acessibilidade: 0.61949),

Cidade Mediana (2) com posicao: 19-BLUMENAU 1, com 5 cidades medianas: (19-BLUMENAU 1 com acessibilidade: 0.510919), (74-GASPAR 1 com acessibilidade: 0.461709), (75-GASPAR 2 com acessibilidade: 0.492661), (136-POMERODE com acessibilidade: 0.531237), (170-TIMBO com acessibilidade: 0.61949),

Cidade Mediana (3) com posicao: 20-BLUMENAU 2, com 6 cidades medianas: (20-BLUMENAU 2 com acessibilidade: 0.510919), (21-BLUMENAU 3 com acessibilidade: 0.461709), (22-BLUMENAU 4 com acessibilidade: 0.492661), (23-BLUMENAU 5 com acessibilidade: 0.531237), (24-BLUMENAU 6 com acessibilidade: 0.61949), (25-BLUMENAU 7 com acessibilidade: 0.422842),

Cidade Mediana (4) com posicao: 28-BRUSQUE 1, com 5 cidades medianas: (28-BRUSQUE 1 com acessibilidade: 0.510919), (29-BRUSQUE 2 com acessibilidade: 0.461709), (30-BRUSQUE 3 com acessibilidade: 0.492661), (37-CANELINHA com acessibilidade: 0.531237), (126-NOVA TRENTO com acessibilidade: 0.61949),

Cidade Mediana (5) com posicao: 32-CACADOR 2, com 2 cidades medianas: (31-CACADOR 1 com acessibilidade: 0.510919), (32-CACADOR 2 com acessibilidade: 0.461709),

Cidade Mediana (6) com posicao: 38-CANOINHAS 1, com 6 cidades medianas: (16-BELA VISTA DO TOLDO com acessibilidade: 0.510919), (38-CANOINHAS 1 com acessibilidade: 0.461709), (39-CANOINHAS 2 com acessibilidade: 0.492661), (86-IRINEOPOLIS com acessibilidade: 0.531237), (139-PORTO UNIAO com acessibilidade: 0.61949), (171-TRES BARRAS com acessibilidade: 0.422842),

Cidade Mediana (7) com posicao: 44-CHAPECO 2, com 4 cidades medianas: (43-CHAPECO 1 com acessibilidade: 0.510919), (44-CHAPECO 2 com acessibilidade: 0.461709), (45-CHAPECO 3 com acessibilidade: 0.492661), (46-CHAPECO 4 com acessibilidade: 0.531237),

Cidade Mediana (8) com posicao: 48-CONCORDIA 1, com 5 cidades medianas: (48-CONCORDIA 1 com acessibilidade: 0.510919), (49-CONCORDIA 2 com acessibilidade: 0.461709), (85-IPUMIRIM com acessibilidade: 0.492661), (87-ITA com acessibilidade: 0.531237), (137-PONTE SERRADA com acessibilidade: 0.61949),

Cidade Mediana (9) com posicao: 53-CRICIUMA 1, com 10 cidades medianas: (47-COCAL DO SUL com acessibilidade: 0.510919), (53-CRICIUMA 1 com acessibilidade: 0.461709), (54-CRICIUMA 2 com acessibilidade: 0.492661), (55-CRICIUMA 3 com acessibilidade: 0.531237), (56-CRICIUMA 4 com acessibilidade: 0.61949), (70-FORQUILHINHA com acessibilidade: 0.422842), (78-ICARA 1 com acessibilidade: 0.418876), (79-ICARA 2 com acessibilidade: 0.687542), (124-MORRO DA FUMACA com acessibilidade: 0.589666), (167-SIDEROPOLIS com acessibilidade: 0.684118),

Cidade Mediana (10) com posicao: 58-CURITIBANOS, com 6 cidades medianas: (51-CORREA PINTO com acessibilidade: 0.510919), (58-CURITIBANOS com acessibilidade: 0.461709), (118-LEBON REGIS com acessibilidade: 0.492661), (146-SANTA CECILIA com acessibilidade: 0.531237), (150-SAO CRISTOVAO DO SUL com acessibilidade: 0.61949), (162-SAO JOSE DO CERRITO com acessibilidade: 0.422842),

Cidade Mediana (11) com posicao: 61-FLORIANOPOLIS 1, com 1 cidades medianas: (61-FLORIANOPOLIS 1 com acessibilidade: 0.510919),

Cidade Mediana (12) com posicao: 63-FLORIANOPOLIS 3, com 1 cidades medianas: (63-FLORIANOPOLIS 3 com acessibilidade: 0.510919),

Cidade Mediana (13) com posicao: 64-FLORIANOPOLIS 4, com 5 cidades medianas: (62-FLORIANOPOLIS 2 com acessibilidade: 0.510919), (64-FLORIANOPOLIS 4 com acessibilidade: 0.461709), (66-FLORIANOPOLIS 6 com acessibilidade: 0.492661), (67-FLORIANOPOLIS 7 com acessibilidade: 0.531237), (68-FLORIANOPOLIS 8 com acessibilidade: 0.61949),

Cidade Mediana (14) com posicao: 65-FLORIANOPOLIS 5, com 1 cidades medianas: (65-FLORIANOPOLIS 5 com acessibilidade: 0.510919),

Cidade Mediana (15) com posicao: 69-FLORIANOPOLIS 9, com 1 cidades medianas: (69-FLORIANOPOLIS 9 com acessibilidade: 0.510919),

Cidade Mediana (16) com posicao: 77-HERVAL D'OESTE, com 8 cidades medianas: (3-AGUA DOCE com acessibilidade: 0.510919), (7-ANITA GARIBALDI com acessibilidade: 0.461709), (36-CAMPOS NOVOS com acessibilidade: 0.492661), (40-CAPINZAL com acessibilidade: 0.531237), (42-CATANDUVAS com acessibilidade: 0.61949), (77-HERVAL D'OESTE com acessibilidade: 0.422842), (99-JOACABA com acessibilidade: 0.418876), (172-TREZE TILIAS com acessibilidade: 0.687542),

Cidade Mediana (17) com posicao: 82-INDAIAL 1, com 4 cidades medianas: (10-ASCURRA com acessibilidade: 0.510919), (17-BENEDITO NOVO com acessibilidade: 0.461709), (82-INDAIAL 1 com acessibilidade: 0.492661), (83-INDAIAL 2 com acessibilidade: 0.531237),

Cidade Mediana (18) com posicao: 89-ITAJAI 1, com 9 cidades medianas: (15-BARRA VELHA com acessibilidade: 0.510919), (33-CAMBORIU 1 com acessibilidade: 0.461709), (80-ILHOTA com acessibilidade: 0.492661), (89-ITAJAI 1 com acessibilidade: 0.531237), (90-ITAJAI 2 com acessibilidade: 0.61949), (91-ITAJAI 3 com acessibilidade: 0.422842), (92-ITAJAI 4 com acessibilidade: 0.418876), (125-NAVEGANTES 1 com acessibilidade: 0.687542), (134-PENHA com acessibilidade: 0.589666),

Cidade Mediana (19) com posicao: 98-JARAGUA DO SUL 3, com 3 cidades medianas: (96-JARAGUA DO SUL 1 com acessibilidade: 0.510919), (97-JARAGUA DO SUL 2 com acessibilidade: 0.461709), (98-JARAGUA DO SUL 3 com acessibilidade: 0.492661),

Cidade Mediana (20) com posicao: 100-JOINVILLE 1, com 8 cidades medianas: (11-BALNEARIO BARRA DO SUL com acessibilidade: 0.510919), (73-GARUVA com acessibilidade: 0.461709), (76-GUARAMIRIM com acessibilidade: 0.492661), (94-ITAPOA com acessibilidade: 0.531237), (100-JOINVILLE 1 com acessibilidade: 0.61949), (110-JOINVILLE 11 com acessibilidade: 0.422842), (152-SAO FRANCISCO DO SUL com acessibilidade: 0.418876), (166-SCHROEDER com acessibilidade: 0.687542),

Cidade Mediana (21) com posicao: 101-JOINVILLE 2, com 3 cidades medianas: (101-JOINVILLE 2 com acessibilidade: 0.510919), (103-JOINVILLE 4 com acessibilidade: 0.461709), (104-JOINVILLE 5 com acessibilidade: 0.492661),

Cidade Mediana (22) com posicao: 105-JOINVILLE 6, com 1 cidades medianas: (105-JOINVILLE 6 com acessibilidade: 0.510919),

Cidade Mediana (23) com posicao: 106-JOINVILLE 7, com 1 cidades medianas: (106-JOINVILLE 7 com acessibilidade: 0.510919),

Cidade Mediana (24) com posicao: 108-JOINVILLE 9, com 3 cidades medianas: (102-JOINVILLE 3 com acessibilidade: 0.510919), (107-JOINVILLE 8 com acessibilidade: 0.461709), (108-JOINVILLE 9 com acessibilidade: 0.492661),

Cidade Mediana (25) com posicao: 109-JOINVILLE 10, com 1 cidades medianas: (109-JOINVILLE 10 com acessibilidade: 0.510919),

Cidade Mediana (26) com posicao: 111-LAGES 1, com 4 cidades medianas: (35-CAMPO BELO DO SUL com acessibilidade: 0.510919), (111-LAGES 1 com acessibilidade: 0.461709), (112-LAGES 2 com acessibilidade: 0.492661), (155-SAO JOAQUIM com acessibilidade: 0.531237),

Cidade Mediana (27) com posicao: 113-LAGES 3, com 1 cidades medianas: (113-LAGES 3 com acessibilidade: 0.510919),

Cidade Mediana (28) com posicao: 114-LAGES 4, com 1 cidades medianas: (114-LAGES 4 com acessibilidade: 0.510919),

Cidade Mediana (29) com posicao: 115-LAGUNA 1, com 3 cidades medianas: (81-IMBITUBA com acessibilidade: 0.510919), (115-LAGUNA 1 com acessibilidade: 0.461709), (116-LAGUNA 2 com acessibilidade: 0.492661),

Cidade Mediana (30) com posicao: 119-MAFRA 1, com 5 cidades medianas: (88-ITAIOPOLIS com acessibilidade: 0.510919), (119-MAFRA 1 com acessibilidade: 0.461709), (120-MAFRA 2 com acessibilidade: 0.492661), (133-PAPANDUVA com acessibilidade: 0.531237), (147-SANTA TEREZINHA com acessibilidade: 0.61949),

Cidade Mediana (31) com posicao: 127-ORLEANS, com 6 cidades medianas: (6-ALFREDO WAGNER com acessibilidade: 0.510919), (26-BOM RETIRO com acessibilidade: 0.461709), (27-BRACO DO NORTE com acessibilidade: 0.492661), (117-LAURO MULLER com acessibilidade: 0.531237), (127-ORLEANS com acessibilidade: 0.61949), (177-URUBICI com acessibilidade: 0.422842),

Cidade Mediana (32) com posicao: 128-PALHOCA 1, com 5 cidades medianas: (5-AGUAS MORNAS com acessibilidade: 0.510919), (72-GAROPABA com acessibilidade: 0.461709), (128-PALHOCA 1 com acessibilidade: 0.492661), (129-PALHOCA 2 com acessibilidade: 0.531237), (130-PALHOCA 3 com acessibilidade: 0.61949),

Cidade Mediana (33) com posicao: 135-PINHALZINHO, com 7 cidades medianas: (4-AGUAS DE CHAPECO com acessibilidade: 0.510919), (50-CORONEL FREITAS com acessibilidade: 0.461709), (57-CUNHA PORA com acessibilidade: 0.492661), (121-MARAVILHA com acessibilidade: 0.531237), (132-PALMITOS com acessibilidade: 0.61949), (135-PINHALZINHO com acessibilidade: 0.422842), (163-SAO LOURENCO DO OESTE com acessibilidade: 0.418876),

Cidade Mediana (34) com posicao: 142-RIO DO SUL 2, com 7 cidades medianas: (2-AGROLANDIA com acessibilidade: 0.510919), (95-ITUPORANGA com acessibilidade: 0.461709), (140-PRESIDENTE GETULIO com acessibilidade: 0.492661), (141-RIO DO SUL 1 com acessibilidade: 0.531237), (142-RIO DO SUL 2 com acessibilidade: 0.61949), (173-TROMBUDO CENTRAL com acessibilidade: 0.422842), (178-VIDAL RAMOS com acessibilidade: 0.418876),

Cidade Mediana (35) com posicao: 148-SAO BENTO DO SUL 1, com 5 cidades medianas: (34-CAMPO ALEGRE com acessibilidade: 0.510919), (52-CORUPA com acessibilidade: 0.461709), (143-RIO NEGRINHO com acessibilidade: 0.492661), (148-SAO BENTO DO SUL 1 com acessibilidade: 0.531237), (149-SAO BENTO DO SUL 2 com acessibilidade: 0.61949),

Cidade Mediana (36) com posicao: 157-SAO JOSE 2, com 7 cidades medianas: (8-ANTONIO CARLOS com acessibilidade: 0.510919), (18-BIGUACU 1 com acessibilidade: 0.461709), (156-SAO JOSE 1 com acessibilidade: 0.492661), (157-SAO JOSE 2 com acessibilidade: 0.531237), (158-SAO JOSE 3 com acessibilidade: 0.61949), (159-SAO JOSE 4 com acessibilidade: 0.422842), (160-SAO JOSE 5 com acessibilidade: 0.418876),

Cidade Mediana (37) com posicao: 165-SAO MIGUEL DO OESTE, com 7 cidades medianas: (59-DIONISIO CERQUEIRA com acessibilidade: 0.510919), (84-IPORA DO OESTE com acessibilidade:

0.461709), (131-PALMA SOLA com acessibilidade: 0.492661), (144-ROMELANDIA com acessibilidade: 0.531237), (153-SAO JOAO DO OESTE com acessibilidade: 0.61949), (161-SAO JOSE DO CEDRO com acessibilidade: 0.422842), (165-SAO MIGUEL DO OESTE com acessibilidade: 0.418876),

Cidade Mediana (38) com posicao: 168-SOMBRI0, com 6 cidades medianas: (9-ARARANGUA 1 com acessibilidade: 0.510919), (122-MELEIRO com acessibilidade: 0.461709), (154-SAO JOAO DO SUL com acessibilidade: 0.492661), (168-SOMBRI0 com acessibilidade: 0.531237), (169-TIMBE DO SUL com acessibilidade: 0.61949), (176-TURVO com acessibilidade: 0.422842),

Cidade Mediana (39) com posicao: 174-TUBARAO 1, com 5 cidades medianas: (41-CAPIVARI DE BAIXO com acessibilidade: 0.510919), (145-SANGAO com acessibilidade: 0.461709), (164-SAO LUDGERO com acessibilidade: 0.492661), (174-TUBARAO 1 com acessibilidade: 0.531237), (175-TUBARAO 2 com acessibilidade: 0.61949),

Cidade Mediana (40) com posicao: 179-VIDEIRA, com 3 cidades medianas: (71-FRAIBURGO com acessibilidade: 0.510919), (123-MONTE CARLO com acessibilidade: 0.461709), (179-VIDEIRA com acessibilidade: 0.492661),

Cidade Mediana (41) com posicao: 180-XANXERE, com 5 cidades medianas: (1-ABELARDO LUZ com acessibilidade: 0.510919), (60-FAXINAL DOS GUEDES com acessibilidade: 0.461709), (151-SAO DOMINGOS com acessibilidade: 0.492661), (180-XANXERE com acessibilidade: 0.531237), (181-XAXIM com acessibilidade: 0.61949)

SOLUÇÃO OBTIDA PARA A ETAPA 3

Análise da solução aplicada: ../data/SolucaoAtual_Analise.dat

Leitura do arquivo:

FO = 684196

Beta = 0.459899

DP = 0.123355

Cidades de cada mediana

Cidade Mediana (1) com posicao: 2-BLUMENAU 1, com 3 cidades medianas: (2-BLUMENAU 1 com acessibilidade: 0.818731), (3-BLUMENAU 2 com acessibilidade: 0.945539), (17-INDAIAL 1 com acessibilidade: 0.930531),

Cidade Mediana (2) com posicao: 6-CANOINHAS 1, com 1 cidades medianas: (6-CANOINHAS 1 com acessibilidade: 0.818731),

Cidade Mediana (3) com posicao: 7-CHAPECO 2, com 3 cidades medianas: (7-CHAPECO 2 com acessibilidade: 0.818731), (33-PINHALZINHO com acessibilidade: 0.945539), (41-XANXERE com acessibilidade: 0.930531),

Cidade Mediana (4) com posicao: 8-CONCORDIA 1, com 1 cidades medianas: (8-CONCORDIA 1 com acessibilidade: 0.818731),

Cidade Mediana (5) com posicao: 9-CRICIUMA 1, com 2 cidades medianas: (9-CRICIUMA 1 com acessibilidade: 0.818731), (38-SOMBRIO com acessibilidade: 0.945539),

Cidade Mediana (6) com posicao: 10-CURITIBANOS, com 1 cidades medianas: (10-CURITIBANOS com acessibilidade: 0.818731),

Cidade Mediana (7) com posicao: 11-FLORIANOPOLIS 1, com 2 cidades medianas: (11-FLORIANOPOLIS 1 com acessibilidade: 0.818731), (14-FLORIANOPOLIS 5 com acessibilidade: 0.945539),

Cidade Mediana (8) com posicao: 12-FLORIANOPOLIS 3, com 1 cidades medianas: (12-FLORIANOPOLIS 3 com acessibilidade: 0.818731),

Cidade Mediana (9) com posicao: 13-FLORIANOPOLIS 4, com 2 cidades medianas: (13-FLORIANOPOLIS 4 com acessibilidade: 0.818731), (15-FLORIANOPOLIS 9 com acessibilidade: 0.945539),

Cidade Mediana (10) com posicao: 18-ITAJAI 1, com 3 cidades medianas: (1-BALNEARIO CAMBORIU 2 com acessibilidade: 0.818731), (4-BRUSQUE 1 com acessibilidade: 0.945539), (18-ITAJAI 1 com acessibilidade: 0.930531),

Cidade Mediana (11) com posicao: 19-JARAGUA DO SUL 3, com 2 cidades medianas: (19-JARAGUA DO SUL 3 com acessibilidade: 0.818731), (35-SAO BENTO DO SUL 1 com acessibilidade: 0.945539),

Cidade Mediana (12) com posicao: 20-JOINVILLE 1, com 1 cidades medianas: (20-JOINVILLE 1 com acessibilidade: 0.818731),

Cidade Mediana (13) com posicao: 21-JOINVILLE 2, com 1 cidades medianas: (21-JOINVILLE 2 com acessibilidade: 0.818731),

Cidade Mediana (14) com posicao: 23-JOINVILLE 7, com 1 cidades medianas: (23-JOINVILLE 7 com acessibilidade: 0.818731),

Cidade Mediana (15) com posicao: 24-JOINVILLE 9, com 3 cidades medianas: (22-JOINVILLE 6 com acessibilidade: 0.818731), (24-JOINVILLE 9 com acessibilidade: 0.945539), (25-JOINVILLE 10 com acessibilidade: 0.930531),

Cidade Mediana (16) com posicao: 26-LAGES 1, com 3 cidades medianas: (26-LAGES 1 com acessibilidade: 0.818731), (27-LAGES 3

com acessibilidade: 0.945539), (28-LAGES 4 com acessibilidade: 0.930531),
 Cidade Mediana (17) com posicao: 30-MAFRA 1, com 1 cidades medianas: (30-MAFRA 1 com acessibilidade: 0.818731),
 Cidade Mediana (18) com posicao: 32-PALHOCA 1, com 1 cidades medianas: (32-PALHOCA 1 com acessibilidade: 0.818731),
 Cidade Mediana (19) com posicao: 34-RIO DO SUL 2, com 1 cidades medianas: (34-RIO DO SUL 2 com acessibilidade: 0.818731),
 Cidade Mediana (20) com posicao: 36-SAO JOSE 2, com 1 cidades medianas: (36-SAO JOSE 2 com acessibilidade: 0.818731),
 Cidade Mediana (21) com posicao: 37-SAO MIGUEL DO OESTE, com 1 cidades medianas: (37-SAO MIGUEL DO OESTE com acessibilidade: 0.818731),
 Cidade Mediana (22) com posicao: 39-TUBARAO 1, com 3 cidades medianas: (29-LAGUNA 1 com acessibilidade: 0.818731), (31-ORLEANS com acessibilidade: 0.945539), (39-TUBARAO 1 com acessibilidade: 0.930531),
 Cidade Mediana (23) com posicao: 40-VIDEIRA, com 3 cidades medianas: (5-CACADOR 2 com acessibilidade: 0.818731), (16-HERVAL D'OESTE com acessibilidade: 0.945539), (40-VIDEIRA com acessibilidade: 0.930531)

MODELO DA LISTA GERADA PARA FO – ETAPA 2 – Dois indivíduos de 100.

Lista iniciada para selecao dos valores de
 ../data/Parametros/Saida_Otim_FObal.dat

Individuo: 1

Medianas: 61 63 119 89 128 64 13 112 82 38 109 53 31 156 96 144 180
 77 111 105 115 65 103 20 174 101 9 104 113 43 141 48 28 100 102 148
 58 106 110 114 127
 FObal = 8292843.000000
 Beta = 0.738229
 Media = 0.658762
 Desvio Padrão = 0.152931
 61: 61
 63: 63
 119: 88 119 120 133 147
 89: 15 33 80 89 90 91 92 125 134
 128: 5 72 128 129 130

64: 62 64 66 67 68 69
 13: 12 13 14 93 138
 112: 112
 82: 10 17 82 83 170
 38: 16 38 39 86 171
 109: 109
 53: 47 53 54 55 56 70 78 79 124 167
 31: 31 32 71 118 139 179
 156: 8 18 156 157 158 159 160
 96: 76 96 97 98 166
 144: 57 59 84 121 131 132 135 144 153 161 163 165
 180: 1 60 151 180 181
 77: 3 7 36 40 42 77 99 172
 111: 35 111 155
 105: 105
 115: 81 115 116
 65: 65
 103: 103
 20: 19 20 21 22 23 24 25 74 75 136
 174: 41 145 164 174 175
 101: 101
 9: 9 122 154 168 169 176
 104: 104
 113: 113
 43: 4 43 44 45 46 50
 141: 2 95 140 141 142 173 178
 48: 48 49 85 87 137
 28: 28 29 30 37 126
 100: 11 73 94 100 152
 102: 102 107 108
 148: 34 52 143 148 149
 58: 51 58 123 146 150 162
 106: 106
 110: 110
 114: 114
 127: 6 26 27 117 127 177

Individuo: 2

Medianas: 119 111 180 103 82 112 53 144 179 64 63 106 65 61 114 89
 48 128 13 148 101 77 113 20 43 96 28 58 105 104 156 174 38 141 102
 100 31 9 115 110 109

FObal = 8311687.500000

Beta = 0.737581

Media = 0.656916

Desvio Padrão = 0.151410

119: 88 119 120 133 147

111: 35 111 155

180: 1 60 151 180 181

103: 103

82: 10 17 82 83 170

112: 112

53: 47 53 54 55 56 70 78 79 117 124 167

144: 57 59 84 121 131 132 135 144 153 161 163 165

179: 71 123 179

64: 62 64 66 67 68 69

63: 63

106: 106

65: 65

61: 61

114: 114

89: 15 33 80 89 90 91 92 125 134

48: 48 49 85 87 137

128: 5 72 128 129 130

13: 12 13 14 93 138

148: 34 52 143 148 149

101: 101

77: 3 7 36 40 42 77 99 172

113: 113

20: 19 20 21 22 23 24 25 74 75 136

43: 4 43 44 45 46 50

96: 76 96 97 98 166

28: 28 29 30 37 126

58: 51 58 146 150 162

105: 105

104: 104

156: 8 18 156 157 158 159 160

174: 27 41 127 145 164 174 175 177

38: 16 38 39 86 171

141: 2 6 26 95 140 141 142 173 178

102: 102 107 108

100: 11 73 94 100 152

31: 31 32 118 139

9: 9 122 154 168 169 176

115: 81 115 116

110: 110

109: 109

ANEXO A – RELAÇÃO DOS HOSPITAIS DE SANTA CATARINA POR MUNICÍPIO E PORTE.

Hospitais por município e porte. Dados da Secretaria de Estado da Saúde.

Município	Hospital	Porte
Abelardo Luz	HOSPITAL NOSSA SENHORA APARECIDA	I
Agrolândia	FUNDACAO HOSPITALAR ALEX KRIESER	I
Água Doce	HOSPITAL NOSSA SENHORA DA PAZ	I
Alfredo Wagner	HOSPITAL DE ALFREDO WAGNER	I
Anchieta	HOSPITAL MUNICIPAL ANCHIETENSE	I
Angelina	HOSPITAL E MATERNIDADE NOSSA SENHORA DA CONCEICAO	I
Anita Garibaldi	HOSPITAL FREI ROGERIO	I
Anitápolis	HOSPITAL SAO SEBASTIAO	I
Arabutã	HOSPITAL OSVALDO CRUZ	I
Araranguá	ISAS HOSPITAL REGIONAL DE ARARANGUA	II
Armazém	HOSPITAL SANTO ANTONIO HSA	I
Arroio Trinta	HOSPITAL SAO ROQUE	I
Aurora	HOSPITAL DE AURORA	I
Balneário Camboriu	HOSPITAL MUNICIPAL RUTH CARDOSO	I
Blumenau	HOSPITAL MISERICORDIA	I
Blumenau	HOSPITAL SANTA ISABEL	IV
Blumenau	HOSPITAL SANTO ANTONIO	III
Bocaina do Sul	HOSPITAL SAO JOSE	I
Bom Jardim da Serra	HOSPITAL AMERICO CAETANO DO AMARAL	I
Bom Retiro	HOSPITAL NOSSA SENHORA DAS GRACAS	I
Braço do Norte	HOSPITAL SANTA TERESINHA	I
Brusque	HOSPITAL AZAMBUJA	II
Brusque	ASSOCIACAO HOSPITAL E MATERNIDADE DOM JOAQUIM	I
Caçador	HOSPITAL MAICE	II

Caibi	HOSPITAL CAIBI	I
Camboriu	FUNDACAO HOSPITALAR DE CAMBORIU	I
Campo Alegre	HOSPITAL SALVATORIANO SAO LUIZ	I
Campo Belo do Sul	HOSPITAL NOSSA SENHORA DO PATROCINIO	I
Campo Erê	HOSPITAL SANTO ANTONIO CAMPO ERE	I
Campos Novos	FUNDACAO HOSPITALAR DR JOSE ATHANASIO	I
Canelinha	FUNDACAO HOSPITALAR MUNICIPAL DE CANELINHA	I
Canoinhas	HOSPITAL SANTA CRUZ DE CANOINHAS	I
Capinzal	HOSPITAL SAO JOSE	I
Capinzal	HOSPITAL NOSSA SENHORA DAS DORES	I
Catanduvas	HOSPITAL MUNICIPAL NOSSA SRA DO PERPETUO SOCORRO	I
Caxambu do Sul	FUNDACAO MEDICA ASSISTENCIAL DO TRABALHADOR RURAL	I
Chapecó	ASSOCIACAO HOSP LENOIR VARGAS HOSPITAL REGIONAL	IV
Concórdia	HOSPITAL SAO FRANCISCO	III
Coronel Freitas	HOSPITAL NOSSA SENHORA DA SAUDE CORONEL FREITAS	I
Correia Pinto	HOSPITAL FAUSTINO RISCAROLLI	I
Criciúma	HOSPITAL MATERNO INFANTIL SANTA CATARINA	I
Criciúma	CASA DE SAUDE RIO MAINA LTDA	II
Criciúma	HOSPITAL SAO JOSE	IV
Cunha Porã	HOSPITAL CUNHA PORA	I
Curitibanos	HOSPITAL HELIO ANJOS ORTIZ	II
Descanso	FUNDACAO MEDICA	I
Dionísio Cerqueira	HOSPITAL MUNICIPAL DE DIONISIO CERQUEIRA	I
Erval Velho	HOSPITAL NOSSA SENHORA DE FATIMA	I
Faxinal dos Guedes	HOSPITAL SAO CRISTOVAO	I
Florianópolis	MATERNIDADE CARMELA DUTRA	III
Florianópolis	HOSPITAL FLORIANOPOLIS	II

Florianópolis	IMPERIAL HOSPITAL DE CARIDADE	III
Florianópolis	CEPON	II
Florianópolis	HOSPITAL NEREU RAMOS	II
Florianópolis	HOSPITAL GOVERNADOR CELSO RAMOS	IV
Florianópolis	HOSPITAL INFANTIL JOANA DE GUSMAO	IV
Florianópolis	HOSPITAL UNIVERSITARIO	III
Florianópolis	MATERNIDADE DOUTOR CARLOS CORREA	I
Gaspar	HOSPITAL DE GASPAR	I
Guaraciaba	ASSOCIACAO BENEFICENTE HOSPITAL SAO LUCAS	I
Guaramirim	HOSPITAL PADRE MATHIAS MARIA STEIN	I
Guarujá do Sul	HOSPITAL GUARUJA	I
Ibicaré	CLINICA REVIVER	I
Ibirama	HOSPITAL DR WALDOMIRO COLAUTTI	II
Içara	FUNDACAO SOCIAL HOSPITALAR DE ICARA	I
Imaruí	HOSPITAL SAO JOAO BATISTA	I
Imbituba	HOSPITAL SAO CAMILO	I
Indaial	HOSPITAL BEATRIZ RAMOS	I
Ipira	HOSPITAL PIRATUBA IPIRA	I
Iporã do Oeste	HOSPITAL DE IPORA	I
Ipumirim	HOSPITAL SAO CAMILO	I
Irani	HOSPITAL SAO JORGE LTDA	I
Irineópolis	HOSPITAL MUNICIPAL BOM JESUS	I
Itá	HOSPITAL SAO PEDRO ITA	I
Itaiópolis	HOSPITAL SANTO ANTONIO	I
Itajai	HOSPITAL E MATERNIDADE MARIETA KONDER BORNHAUSEN	IV
Itajaí	HOSPITAL UNIVERSITARIO UNIVALI HOSP PEQUENO ANJO	II
Itapiranga	SOCIEDADE HOSPITALAR ITAPIRANGA	I
Ituporanga	HOSPITAL BOM JESUS	I
Jacinto Machado	HOSPITAL SAO ROQUE	I

Jaguaruna	HOSPITAL DE CARIDADE DE JAGUARUNA	I
Jaraguá do Sul	HOSPITAL E MATERNIDADE SAO JOSE	III
Jaraguá do Sul	HOSPITAL E MATERNIDADE JARAGUA	III
Joaçaba	HOSPITAL UNIVERSITARIO SANTA TEREZINHA	II
Joinville	HOSPITAL REGIONAL HANS DIETER SCHMIDT	IV
Joinville	HOSPITAL MUNICIPAL SAO JOSE	IV
Joinville	MATERNIDADE DARCY VARGAS	III
Joinville	HOSPITAL BETHESDA	I
Joinville	CENTRO HOSPITALAR UNIMED	I
Joinville	HOSPITAL MATERNO INFANTIL DR JESER AMARANTE FARIA	I
Lages	HOSP N SRA DOS PRAZERES	III
Lages	HOSPITAL GERAL E MATERNIDADE TEREZA RAMOS	III
Lages	HOSPITAL INFANTIL SEARA DO BEM	II
Laguna	HOSPITAL DE CARIDADE S B J DOS PASSOS	I
Lauro Muller	HOSPITAL MUNICIPAL HENRIQUE LAGE	I
Lebon Régis	HOSPITAL E MATERNIDADE SANTO ANTONIO	I
Lindóia do Sul	HOSPITAL IZOLDE HUBNER DALMORA	I
Luiz Alves	HOSPITAL HOSCOLA	I
Luzerna	HOSPITAL SAO ROQUE	I
Mafra	HOSPITAL SAO VICENTE DE PAULO	II
Mafra	MATERNIDADE DONA CATARINA KUSS	I
Major Vieira	HOSPITAL MUNICIPAL SAO LUCAS	I
Maravilha	HOSPITAL SAO JOSE DE MARAVILHA	I
Meleiro	HOSPITAL SAO JUDAS TADEU	I
Modelo	HOSPITAL DE MODELO	I
Mondai	HOSPITAL MONDAI	I
Monte Castelo	SOCIEDADE HOSP COMUN PE CLEMENTE KAMPMANN	I
Morro da Fumaça	HOSPITAL DE CARIDADE SAO ROQUE	I

Navegantes	HOSPITAL NOSSA SENHORA DOS NAVEGANTES	I
Nova Erechim	HOSPITAL NOVA ERECHIM	I
Nova Trento	HOSPITAL NOSSA SENHORA DA IMACULADA CONCEICAO	I
Nova Veneza	HOSPITAL SAO MARCOS	I
Orleans	FUNDACAO HOSPITALAR SANTA OTILIA	I
Otacílio Costa	HOSPITAL SANTA CLARA	I
Palma Sola	HOSP PALAM SOLA - HOSPITAL SANTA RITA DE CASSIA LTDA	I
Palmitos	HOSPITAL PALMITOS	I
Papanduva	HOSPITAL SAO SEBASTIAO	I
Penha	HOSPITAL NOSSA SENHORA DA PENHA LTDA	I
Peritiba	ASSOCIACAO BENEFICENTE HOSPITALAR PERITIBA	I
Petrolândia	FUNDACAO MEDICO SOCIAL RURAL DE SANTA CATARINA	I
Pinhalzinho	HOSPITAL DE PINHALZINHO	I
Pomerode	HOSPITAL E MATERNIDADE RIO DO TESTO	I
Ponte Alta	FUNDACAO MEDICO SOCIAL RURAL DE PONTE ALTA	I
Ponte Serrada	HOSPITAL SANTA LUZIA DE DEOLINDO JOSE BAGGIO	I
Porto União	HOSPITAL DE CARIDADE SAO BRAZ	II
Pouso Redondo	HOSPITAL DE POUSO REDONDO	I
Praia Grande	HOSPITAL NOSSA SENHORA DE FATIMA	I
Presidente Getúlio	HOSPITAL E MATERNIDADE MARIA AUXILIADORA	I
Quilombo	HOSPITAL SAO BERNARDO	I
Rio do Campo	SOCIEDADE CULTURAL E BENEFICENTE SAO JOSE	I
Rio dos Cedros	HOSPITAL DOM BOSCO	I
Rio do Sul	HOSPITAL SAMARIA	I
Rio do Sul	HOSPITAL REGIONAL ALTO VALE	III
Rio Fortuna	HOSPITAL DE RIO FORTUNA	I
Rio Negrinho	HOSPITAL RIO NEGRINHO	I

Salete	HOSPITAL E MATERNIDADE SANTA TEREZINHA	I
Salto Veloso	FUNDAÇÃO MEDICA SOCIAL RURAL SALTO VELOSO	I
Santa Cecília	HOSPITAL E MATERNIDADE SANTA CECILIA	I
Santo Amaro da Imperatriz	HOSPITAL SAO FRANCISCO	I
São Bento do Sul	HOSPITAL E MATERNIDADE SAGRADA FAMILIA	II
São Bonifácio	HOSPITAL DE SAO BONIFACIO	I
São Carlos	SOCIEDADE HOSPITALAR PE JOAO BERTHIER	I
São Francisco do Sul	HOSP MUN NOSSA SRA DA GRACA	I
São João do Oeste	HOSPITAL SANTA CASA RURAL	I
São João Batista	HOSPITAL MUNICIPAL MONSENHOR JOSE LOCKS	I
São Joaquim	HOSPITAL DE CARIDADE CORAÇÃO DE JESUS	I
São José	ICSC - INSTITUTO DE CARDIOLOGIA DE SC	IV
São José	HOSPITAL REGIONAL - DR HOMERO MIRANDA GOMES	III
São José	INSTITUTO DE PSIQUIATRIA IPQ	II
São José	CENTRO DE CONVIVÊNCIA SANTANA	II
São José do Cedro	HOSPITAL CEDRO	I
São José do Cerrito	FUNDAÇÃO MEDICA ASSISTENCIAL DO TRABALHADOR RURAL	I
São Lourenço do Oeste	HOSPITAL DA FUNDAÇÃO	I
São Martinho	FUNDAÇÃO MEDICO SOCIAL RURAL DE SAO MARTINHO	I
São Miguel do Oeste	HOSPITAL REGIONAL TEREZINHA GAIO BASSO	I
São Pedro de Alcântara	HOSPITAL SANTA TERESA	II
Saudades	HOSPITAL SAUDADES	I
Seara	HOSPITAL SAO ROQUE DE SEARA	I
Sombrio	ASSOCIAÇÃO HOSPITALAR DOM	I

	JOAQUIM	
Taió	HOSPITAL E MATERNIDADE DONA LISETTE	I
Tangará	HOSPITAL SAO LUCAS LTDA	I
Tangará	HOSPITAL MUNICIPAL FREI ROGERIO	I
Tijucas	HOSPITAL SAO JOSE E MATERNIDADE CHIQUINHA GALLOTTI	I
Timbé do Sul	HOSPITAL SANTO ANTONIO	I
Timbó	HOSPITAL E MATERNIDADE OASE	I
Três Barras	HOSPITAL FELIX DA COSTA GOMES	I
Treze de Maio	HOSPITAL SAO SEBASTIAO	I
Treze Tilias	HOSPITAL TREZE TILIAS	I
Trombudo Central	HOSPITAL TROMBUDO CENTRAL	I
Tubarão	SDP HOSPITAL NOSSA SENHORA DA CONCEICAO	IV
Tunápolis	HOSPITAL DE TUNAPOLIS	I
Turvo	HSS HOSPITAL SAO SEBASTIAO	I
Urubici	HOSPITAL SAO JOSE DE URUBICI	I
Urussanga	HOSPITAL NOSSA SENHORA DA CONCEICAO	I
Vargeão	ASSOCIACAO HOSPITALAR DE VARGEAO	I
Vidal Ramos	HOSPITAL VIDAL RAMOS	I
Videira	HOSPITAL SALVATORIANO DIVINO SALVADOR	I
Vitor Meireles	ASSOCIACAO HOSPITALAR ANGELINA MENEGHELLI	I
Xanxerê	HOSPITAL REGIONAL SAO PAULO ASSEC	III
Xavantina	HOSPITAL SAO LUCAS	I
Xaxim	HOSPITAL FREI BRUNO	I