GINA PAOLA POLO INFANTE

Modelo de acessibilidade para o planejamento espacial
de ações em saúde pública: o caso dos programas de
vacinação contra a raiva e de esterilização para cães e
gatos de Bogotá, Colômbia

SÃO PAULO
2013

GINA PAOLA POLO INFANTE

Modelo de acessibilidade para o planejamento espacial de ações em saúde pública: o caso dos programas de vacinação contra a raiva e de esterilização para cães e gatos de Bogotá, Colômbia

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia Experimental Aplicada às Zoonoses da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Departamento:

Medicina Veterinária Preventiva e Saúde Animal

Área de concentração:

Epidemiologia Experimental Aplicada às Zoonoses

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Dias

De acordo: _____
Orientador

São Paulo
2013

Obs.: A versão original se encontra disponível na Biblioteca da FMVZ/USP

Autorizo a reprodução parcial ou total desta obra, para fins acadêmicos, desde que citada a fonte.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Biblioteca Virginie Buff D'Ápice da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo)

T.2790
FMVZ

Polo Infante, Gina Paola

Modelo de acessibilidade para o planejamento espacial de ações em saúde pública: o caso dos programas de vacinação contra a raiva e de esterilização para cães e gatos de Bogotá, Colômbia / Gina Paola Polo Infante. -- 2013.
79 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Departamento de Medicina Veterinária Preventiva e Saúde Animal, São Paulo, 2013.

Programa de Pós-Graduação: Epidemiologia Experimental Aplicada às Zoonoses.

Área de concentração: Epidemiologia Experimental Aplicada às Zoonoses.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Dias.

1. Acessibilidade espacial. 2. Locação-alocação. 3. Raiva. 4. Manejo populacional. 5. Cães e gatos. I. Título.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

Comissão de Ética no uso de animais

CERTIFICADO

Certificamos que o Projeto intitulado "Avaliação do planejamento espacial e do uso do programa de esterilização gratuito de caninos e felinos da cidade de Bogotá D.C., Colômbia", protocolado sob o nº 2358/2011, não utilizando animais, sob a responsabilidade do(a) Prof. Dr. Ricardo Augusto Dias, está de acordo com os princípios éticos de experimentação animal da "Comissão de Ética no uso de animais" da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo e foi aprovado em reunião de 17/8/2011.

We certify that the Research "Evaluation of spatial planning and the use of canine and feline neutering program, Bogota D.C., Colombia", protocol number 2358/2011, not using animals, under the responsibility Prof. Dr. Ricardo Augusto Dias, agree with Ethical Principles in Animal Research adopted by "Ethic Committee in the use of animals" of the School of Veterinary Medicine and Animal Science of University of São Paulo and was approved in the meeting of day 8/17/2011.

São Paulo, 18 de agosto de 2011.

Profa. Dra. Denise Tabacchi Fantoni
Presidente

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome: POLO INFANTE, Gina Paola

Título: Modelo de acessibilidade para o planejamento espacial de ações em saúde pública: o caso dos programas de vacinação contra a raiva e de esterilização para cães e gatos de Bogotá, Colômbia.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Epidemiologia Experimental Aplicada às Zoonoses da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Data: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. : _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. : _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

Prof. Dr. : _____

Instituição: _____ Julgamento: _____

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Ana Maria e Roque pelo amor e apoio incondicional, ao meu irmão Roquito por se converter na luz, à minha avó Flor pelas orações e ao meu esposo Carlos por engrandecer constantemente este trabalho e caminhar do meu lado. A os "ositos". A todos eles por serem a fonte de inspiração, força e motivação. Sem eles, não houvesse sido possível.

A meus avós, tios e primos pelo apoio e carinho.

Ao Prof. Ricardo Dias pela confiança, amizade e por permitir-me estudar e trabalhar neste espaço.

À Rita Garcia, ao Prof. Néstor Calderón e ao Prof. Fernando Ferreira pelo apoio e ajudas fornecidas.

Aos colegas do LEB, especialmente à Ana Rita pela amizade, companhia e pelas correções feitas. A todos pelos momentos de sorrisos.

À Secretaria Distrital de Saúde de Bogotá por autorizar o uso dos dados do programa de esterilização.

Ao convênio PEC-PG da CNPq/CAPES pela bolsa de estudos.

RESUMO

POLO INFANTE, G.P. **Modelo de acessibilidade para o planejamento espacial de ações em saúde pública: o caso dos programas de vacinação contra a raiva e de esterilização para cães e gatos de Bogotá, Colômbia.** [Accessibility model for the spatial planning of public health actions: The case of rabies vaccination and sterilization programs for dogs and cats in Bogota, Colombia.]. 2013. 79 f. Tese (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Este estudo integrou sistemas de informação geográfica e métodos analíticos geoespaciais baseados em modelos de acessibilidade espacial e de locação-alocação com o objetivo de aprimorar o planejamento espacial de diferentes programas de saúde pública em áreas urbanas. Para estimar a acessibilidade espacial foi desenvolvido o modelo de três passos de área de influência flutuante (E3SFCA - *Enhancement three-step floating catchment área*) baseado em uma função Gaussiana, considerando um coeficiente de atrito e distâncias ao longo de uma rede de transporte, utilizando o algoritmo de Dijkstra. A metodologia foi aplicada e validada usando os programas de vacinação contra a raiva e de esterilização para cães e gatos da cidade de Bogotá, Colômbia. A escolha do método de cálculo da distância resolveu o problema de superestimação associado com a metodologia clássica que aplica zonas *buffer* em torno dos locais de serviço baseado em uma distância Euclideana. Em geral, não se encontrou uma adequada acessibilidade espacial aos dois programas. As zonas norte, central e periférica da cidade revelaram baixa ou nula acessibilidade aos serviços. Para determinar a alocação e realocação efetiva dos programas foram utilizados os problemas de máxima cobertura com demanda finita e de p -mediana ou de mínima impedância. A realocação proposta pelo modelo de máxima cobertura forneceu uma melhor distribuição dos serviços nas áreas mais povoadas com cães e gatos e garantiu uma acessibilidade espacial potencial a estes programas. O desenvolvimento deste trabalho pode trazer benefícios diretos para a sociedade em geral auxiliando no planejamento estratégico e melhorando a efetividade das ações públicas em áreas urbanas da América Latina.

Palavras chave: Acessibilidade espacial. Locação-alocação. Raiva. Manejo populacional. Cães e gatos.

ABSTRACT

POLO INFANTE, G.P. **Accessibility model for the spatial planning of public health actions: The case of rabies vaccination and sterilization programs for dogs and cats in Bogota, Colombia.** [Modelo de acessibilidade para o planejamento espacial de ações em saúde pública: o caso dos programas de vacinação contra a raiva e de esterilização para cães e gatos de Bogotá, Colômbia.] 2013. 79 f. Tese (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

This study integrated geographic information systems and geospatial analytical methods based on spatial accessibility and location-allocation models in order to improve the spatial planning of different public health programs in urban areas. To estimate the spatial accessibility, a Gaussian-based three-step floating catchment area (E3SFCA) method was developed, including a friction coefficient and using distances along a street network based on Dijkstra's algorithm. The methodology was applied and validated using the rabies vaccination and sterilization programs for dogs and cats in the city of Bogotá, Colombia. The choice of the distance calculation method solve the overestimation associated with the classic methodology that applies buffer zones around vaccination sites based on Euclidean (straight-line) distance. In general it was not observed an adequate spatial accessibility to both programs. The zones north, central and peripheral of the city revealed low or no access to services. To determine the effective allocation or reallocation of these programs the maximum coverage with finite demand and the p -median or minimum impedance problems were used. The relocation proposed by the maximum coverage model provided a better distribution of the services in the most populated areas and proportioned a potential spatial accessibility to these programs. The development of this work can provide direct benefits to society assisting in the strategic planning and improving the effectiveness of public policies in urban areas of Latin America.

Key words: Spatial accessibility. Location-allocation models. Rabies. Population management. Dogs and cats.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Modelos de acessibilidade espacial	14
1.1.1 Modelo gravitacional	15
1.1.2 Modelo de disponibilidade regional	16
1.1.3 Modelo de densidade de kernel	17
1.1.4 Modelos de área de influência flutuante	18
1.2 Modelos de locação - alocação espacial	24
1.2.1 Modelo de mínima impedância	24
1.2.2 Modelo de máxima cobertura	25
2 OBJETIVOS	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 Área de estudo e bancos de dados	28
3.1.1 Programa de esterilização para cães e gatos	28
3.1.2 Programa de vacinação contra a raiva	30
3.2 Análise dos dados	31
3.2.1 Cálculo das distâncias	31
3.2.2 Modelo de acessibilidade potencial	32
3.2.3 Modelo de locação - alocação espacial	35
4 RESULTADOS	37

4.1	Modelo de acessibilidade espacial potencial - E3SFCA	37
4.2	Acessibilidade espacial realizada	40
4.3	Aplicação e validação do modelo de acessibilidade espacial potencial	48
4.3.1	Programa de esterilização para cães e gatos	48
4.3.2	Programa de vacinação contra a raiva	56
4.4	Locação-alocação espacial	60
5	DISCUSSÃO	67
6	CONCLUSÕES	74
7	REFERÊNCIAS	75
8	ANEXO	79

LISTA DE FIGURAS

1.1	Diferentes cenários para a demanda de um determinado serviço.	21
3.1	Mapa das 19 localidades que conformam a área urbana da cidade de Bogotá, Colômbia	29
3.2	Zona <i>buffer</i> criada usando distância Euclideana (círculo), e área de serviço criada usando o algoritmo de Dijkstra a través da rede de transporte (polígono irregular)	33
4.1	Gráfico das funções de poder inverso, exponencial, Gaussiana e Gaussiana 2SFCA	39
4.2	Função de impedância para o modelo de acessibilidade implementado com diferentes valores do coeficiente de atrito β	40
4.3	Distribuição espacial dos locais de esterilização em relação à densidade populacional de cães e gatos	52
4.4	Mapas comparativos da população coberta pelo programa de esterilização usando zonas <i>buffer</i> circulares e zonas de distâncias em rede	53
4.5	Acessibilidade espacial da população de cães e gatos aos locais de esteri- lização utilizando a metodologia E3SFCA	54
4.6	Cobertura populacional aos locais de esterilização para cães e gatos	55
4.7	Distribuição espacial dos locais de vacinação contra a raiva em relação à densidade populacional de cães e gatos	57
4.8	Mapas comparativos da população coberta pelo programa de vacinação contra a raiva usando zonas <i>buffer</i> circulares e zonas de distâncias em rede	58
4.9	Acessibilidade espacial aos locais de vacinação contra a raiva para a po- pulação de cães e gatos usando a metodologia E3SFCA	59

4.10	Resultado dos modelos de locação alocação usando o modelo de mínima impedância	62
4.11	Resultado dos modelos de locação alocação usando o modelo de máxima cobertura limitada	63
4.12	Zoom de alguns locais selecionados nos modelos de locação alocação	64
4.13	Acessibilidade espacial aos 1000 locais de esterilização propostos no modelo de máxima cobertura limitada	65
4.14	Acessibilidade espacial aos 1000 locais de esterilização propostos no modelo de mínima impedância	66

LISTA DE TABELAS

4.1	Capacidade e número de esterilizações por posto de esterilização pra cães e gatos em cada uma das localidades da área urbana da cidade de Bogotá - 2010 a 2011	42
4.2	Sexo e idade dos caninos esterilizados nas diferentes localidades que compõem a área urbana da cidade - Bogotá - 2010 a 2011	43
4.3	Sexo e idade dos felinos esterilizados nas diferentes localidades que compõem a área urbana da cidade - Bogotá - 2010 a 2011	44
4.4	Cobertura do programa de esterilização para cães e gatos em Bogotá nos anos 2010 -2011	45
4.5	Distância média de deslocamento e distâncias mínima e máxima dos usuários caninos em relação aos locais utilizados em cada localidade - Bogotá - 2010 a 2011	46
4.6	Distância média de deslocamento e distâncias mínima e máxima dos usuários felinos em relação aos locais utilizados em cada localidade - Bogotá - 2010 a 2011	47
4.7	Número de domicílios e de cães e gatos por domicílio segundo as estimativas de Vega, Espinosa e Castillo (2007)	51

1 INTRODUÇÃO

1.1 Modelos de acessibilidade espacial

Acessibilidade aos serviços refere-se à facilidade relativa com que um serviço pode ser alcançado desde um determinado local (LUO; WANG, 2003; GUAGLIARDO, 2004; WANG, 2007; LUO; WHIPPO, 2012). Vários fatores podem influenciar a acessibilidade aos locais de serviço em uma determinada comunidade. Estes incluem, mas não estão limitados à disponibilidade de locais na área (oferta), o número de indivíduos que precisam do serviço nesta área (demanda), as barreiras geográficas entre a oferta e a demanda, entre outros (ADAY; ANDERSEN, 1974; KHAN, 1992; LUO; WANG, 2003; DAI, 2010). Aday e Andersen (1974) classificaram a acessibilidade como potencial e realizada. A acessibilidade realizada revela como está sendo usado um determinado serviço em um determinado momento e a acessibilidade potencial refere-se à facilidade com que uma pessoa poderia acessar ao serviço baixo determinadas condições sem garantir o uso deste (KHAN, 1992; LUO; WANG, 2003; WAN; ZOU; STERNBERG, 2011). Ambos tipos de acessibilidade podem ser classificados conforme fatores espaciais (i.e. distância, desenho da rede de transporte) e não espaciais (i.e. estado sócio-econômico, conhecimentos do serviço, estado de saúde) (KHAN, 1992; WANG; LUO, 2005; LUO; QI, 2009; WAN; ZOU; STERNBERG, 2011).

Vários métodos têm sido propostos para estimar a acessibilidade espacial potencial. Estes métodos incluem: o modelo gravitacional (JOSEPH; BANTOCK, 1982), o modelo de disponibilidade regional (KHAN, 1992), o modelo de densidade de kernel (GUAGLIARDO, 2004), e os modelos de área de influência flutuante (LUO; WANG, 2003).

1.1.1 Modelo gravitacional

O modelo gravitacional é uma versão modificada da Lei Gravitacional de Newton que, na geografia começou a utilizar-se para o planejamento do uso do solo (HANSEN, 1959). Este modelo proporciona uma aproximação à acessibilidade espacial nos âmbitos rural e urbano e tenta representar a interação potencial entre um ponto determinado na população i (demanda) e o serviço j (oferta) dentro de uma distância determinada. O modelo usa uma impedância de viagem que representa um desconto paulatino do acesso com o aumento da distancia entre i e j . Desta forma a acessibilidade espacial A_i da população i (indivíduos, moradias o centroides) localizados dentro da área de interesse é expressada como:

$$A_i = \sum_j \frac{S_j}{d_{ij}^\beta}, \quad (1.1)$$

onde S_j é a capacidade do serviço j , d_{ij} é a impedância de viagem (i.e., distância ou tempo de transporte) entre os pontos i e j , e β é o coeficiente de decaimento de gravidade. Neste modelo, a acessibilidade espacial aumenta na medida que a capacidade do serviço (numerador) incrementa ou o valor de impedância (denominador) diminui. Este modelo não está ajustado à demanda, portanto, para uma dada distância, A_i é a mesma independentemente do tamanho populacional alvo. Joseph e Bantock (1982) propuseram uma solução para este problema agregando ao denominador um fator de ajuste à demanda V_j . Este fator distribui espacialmente a demanda populacional da mesma forma que a equação anterior distribui o serviço oferecido:

$$V_j = \sum_k \frac{P_k}{d_{kj}^\beta}, \quad (1.2)$$

onde P_k é o tamanho da população no ponto k e d_{kj} é a distância entre a população k e

o serviço j . A acessibilidade de j é obtida:

$$A_i^G = \sum_j \frac{S_j}{d_{ij}^\beta V_j}. \quad (1.3)$$

1.1.2 Modelo de disponibilidade regional

O modelo de disponibilidade regional é expressado em termos da quantidade de serviço (i.e número de médicos) em uma determinada área. Esta metodologia surgiu como uma forma de melhorar as metodologias anteriormente planteadas e para integrar novos conceitos à definição de acessibilidade (KHAN, 1992). Neste modelo o índice de acessibilidade está dado em termos de uma formulação modificada do modelo gravitacional:

$$A_i^* = \sum_{j=1}^m \frac{F_j \alpha_j}{d_{ij}^\beta}, \quad (1.4)$$

onde A_i^* é o acesso espacial potencial de uma subárea i aos serviços de saúde j , F_j é a capacidade do serviço na subárea j dentro de uma área limite para i , d_{ij} é a distância Euclideana entre i e j , β é o coeficiente de atrito e α_j é o fator de disponibilidade potencial para cada serviço em j . Isto é similar ao índice de acessibilidade de Joseph e Bantock, porém, a versão de Khan difere na forma em que o fator de oferta é introduzido. A disponibilidade potencial α_j é definida como:

$$\alpha_j = \frac{P_j}{\left[\sum_{i=1}^n (P_i / d_{ji}^\beta) \right] - \epsilon}, \quad (1.5)$$

onde P_j é a população alvo em j , P_i é a população alvo em i dentro da área de j , ϵ é a população da subárea i -ésima da equação (1.4), dividido por d_{ij}^β , d_{ji} é a distancia linear

entre j e i e β o coeficiente de atrito. Assim, α_j reflete a demanda potencial na subzona j dentro de uma determinada área e é expressada como uma fração decimal.

Este método tem sido amplamente criticado porque assume que todos os indivíduos estão restritos a uma determinada subárea e que todos os indivíduos dentro de uma mesma área têm igual acesso ao serviço sem importar a distância à que eles se encontram do serviço.

1.1.3 Modelo de densidade de kernel

O modelo de densidade de Kernel usa camadas de tipo matricial para representar a densidade dos fornecedores de determinado serviço. A camada de densidade conforma-se de pequenos pixels que cobrem a totalidade da área de estudo. A cada pixel é associado um valor de densidade, o qual é usado como uma estimativa da acessibilidade espacial para cada célula. Neste método, desenvolvido por Guagliardo (2004), cada ponto de serviço é representado no mapa na forma de um cone tridimensional chamado de Kernel. O volume do cone reflete a capacidade total do serviço, sendo o raio da base do cone a extensão da área de cobertura do serviço. As áreas populacionais mais próximas do centro do cone recebem valores maiores de acessibilidade espacial e aquelas encontradas na periferia da base do cone recebem valores menores de acessibilidade. Em outras palavras, o valor da acessibilidade de cada célula está inversamente relacionada com a distância até o centro do cone. Os valores de densidade de todas as células cobertas pelo cone somam 1.

Embora este método resolva alguns dos problemas dos métodos anteriores, apresenta dificuldades na aplicação, tais como: 1) não definição de um valor de corte para a distância, 2) o valor do coeficiente de atrito β não é tomado em consideração para definir o impacto da distância na acessibilidade e, 3) as medidas são calculadas usando distâncias Euclidianas.

1.1.4 Modelos de área de influência flutuante

O método de dois passos de área de influência flutuante - 2SFCA (*Two-step floating catchment area*), proposto por primeira vez por Radke e Mu (2000), e modificado por Luo e Wang (2003) funciona em duas etapas. No primeiro passo, para cada local de serviço j estima-se a demanda k encontrada dentro da distância ou do tempo de transporte d_0 até o local de serviço j e calcula-se a razão serviço-população R_j :

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{kj} \leq d_0\}} P_k}, \quad (1.6)$$

onde P_k é a população k dentro da área de cobertura ($d_{kj} \leq d_0$), S_j é a capacidade do serviço e d_{kj} é o tempo ou distância de viagem entre k e j . No segundo passo para cada local da população buscam-se todos os locais de serviço j dentro das áreas de cobertura determinadas por d_0 e somam-se as razões serviço-população R_j para os i :

$$A_i^F = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} R_j = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{kj} \leq d_0\}} P_k}, \quad (1.7)$$

onde A_i^F representa a acessibilidade de determinado local i aos locais j , R_j é a razão serviço-população em j cujo local encontra-se dentro da área de cobertura de i .

O método 2SFCA tem sido utilizado em vários estudos para estimar o acesso espacial a serviços de saúde (GUAGLIARDO, 2004; WANG; LUO 2005; LANGFORD; HIGGS, 2006; WANG 2007, WANG et al., 2008). No entanto, este método é limitado porque assume que toda a população dentro de uma área de cobertura têm igual acessibilidade espacial, desconsiderando a impedância da distância dentro da mesma área (LUO;

WANG, 2003). Luo e Qi (2009) propuseram o método E2SFCA para ultrapassar a limitação do 2SFCA. Neste método, nas duas etapas, é gerada uma área de cobertura d_0 dividida em três subzonas de intervalos iguais. Ao igual que o modelo de densidade de Kernel este método é feito com análises de tipo matricial.

No primeiro passo, a área de cobertura do serviço é definida como uma zona de condução associada ao tempo de transporte em torno do mesmo. Dentro de cada zona, são computadas três subzonas de tempo de transporte. Posteriormente, são procurados todos os centroides populacionais k que encontram-se dentro da área de cobertura de cada subzona da locação do serviço j e é calculada a razão serviço-população R_j dentro da área de cobertura de j :

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{r=1}^3 \sum_{k \in \{d_{kj} \in D_r\}} P_k W_r}$$

$$= \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{kj} \in D_1\}} P_k W_1 + \sum_{k \in \{d_{kj} \in D_2\}} P_k W_2 + \sum_{k \in \{d_{kj} \in D_3\}} P_k W_3}, \quad (1.8)$$

onde P_k é a população por pixel k dentro da área de cobertura de j , S_j é a capacidade do serviço j , d_{kj} é o tempo de transporte entre k e j e D_r é a zona de tempo r ($r = 1, 2$ e 3). W_r é o peso da distância para a zona r calculada de uma função Gaussiana (Figura 3.1). No segundo passo, para cada centroide da população i são procurados todos os locais de serviço j que encontram-se dentro da área de cobertura d_0 da população i e somam-se todas as razões serviço-população R_j para cada subzona:

$$A_i^F = \sum_{r=1}^3 \sum_{j \in \{d_{ij} \in D_r\}} R_j W_r$$

$$= \sum_{j \in \{d_{ij} \in D_1\}} R_j W_1 + \sum_{j \in \{d_{ij} \in D_2\}} R_j W_2 + \sum_{j \in \{d_{ij} \in D_3\}} R_j W_3, \quad (1.9)$$

onde A_i^F representa a acessibilidade da população i ao serviço de saúde j , e d_{ij} é o tempo

de transporte entre i e j . Embora, o E2SFCA use um peso de Gauss para representar o decaimento progressivo da distância, este também é limitado por assumir que toda a população encontrada nas subzonas têm igual acesso.

No presente trabalho, para generalizar esta hipótese, foi feita uma análise prévia usando os locais de vacinação contra a raiva da cidade de São Paulo, Brasil (POLO; MERA; DIAS, 2013). Nesta análise, ao invés de considerar subzonas discriminadas com diferentes pesos, integrou-se uma função de Gauss diferente ao modelo E2SFCA para descontar progressivamente o acesso dentro de uma área de cobertura, considerando que cada indivíduo ou centroide populacional k tinha um peso Gaussiano diferente G relacionado à distância d_{kj} até um local de serviço j . Deste modo, se dois pontos estiverem próximos, eles terão acessibilidades diferentes, o que não poderia ser observado ao trabalhar com subzonas. Adicionalmente, o coeficiente de atrito β foi incorporado no peso Gaussiano com a finalidade de representar o valor da facilidade de deslocamento nas condições das estradas. Assim o peso Gaussiano é expressado como:

$$G(d_{kj}, d_0) = \begin{cases} \frac{e^{-\beta(d_{kj}/d_0)^2} - e^{-\beta}}{1 - e^{-\beta}}, & \text{if } d_{kj} \leq 0 \\ 0, & \text{if } d_{kj} > 0 \end{cases}, \quad (1.10)$$

onde β é o coeficiente de atrito. Neste modelo, o primeiro passo é gerar uma área de cobertura dentro de uma distância d_0 para cada ponto de serviço j , e procuram-se todos os centroides populacionais k dentro de d_0 . A população k é pesada usando uma função Gaussiana G e representa o número de usuários potenciais para o local de serviço j . Assim, computa-se o R_j dos locais de serviço:

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in (d_{kj} \leq d_0)} P_k G(d_{kj}, d_0)}, \quad (1.11)$$

onde P_k é a população k dentro da cobertura d_0 , S_j é a capacidade do serviço j e d_{kj} é a distância entre a população k e o serviço j . O segundo passo é procurar todos os locais de

serviço l dentro da área d_0 de cada centroide populacional i . Posteriormente, somam-se os R_l para obter a acessibilidade espacial da população i :

$$A_i = \sum_{l \in (d_{il} \leq d_0)} R_l G(d_{il}, d_0) \quad (1.12)$$

onde l são os locais de serviço dentro da área de cobertura da população i , e todas as outras notações são as mesmas da equação 1.11.

Embora esta modificação não apresente as dificuldades dos outros modelos, tem limitações. Esta metodologia não considera mudanças na demanda da população quando um indivíduo ou centroide populacional tem a capacidade de acessar a mais de um local de serviço. Esta limitação pode ser ilustrada pelos dois cenários apresentados na figura 1.1.

Figura 1.1: Diferentes cenários para a demanda de um determinado serviço. Cenário I: Um único local de serviço a é acessível à população i . Cenário II: Múltiplos locais de serviço a , b e c são acessíveis à população i

Fonte: (WAN; ZOU; STERNBERG, 2012)

Supondo que i é um centroide populacional e a , b e c são locais de serviço e o número de arestas são as impedâncias da distância entre i e os locais de serviço. No cenário I existe um único local de serviço a perto de i . No cenário II há três locais de serviço a , b e c disponíveis dentro da área de cobertura de i . De acordo com os modelos

de captação flutuante propostos, a demanda de i em a é igual a 0.6 vezes a população de i nos dois cenários. Esta demanda é constante nos dois cenários o qual representa um erro ao superestimar a demanda no cenário II, no qual a demanda é igual para serviços que estão na mesma área de cobertura de i . Esta superestimação afetará o resultado da acessibilidade. Assim, pode-se deduzir que o modelo proposto por Polo, Mera e Dias (2013) subestima a acessibilidade.

Para isto, Wan, Zou e Sternberg (2012) propuseram o modelo de três passos de área de influência flutuante (3SFCA) que assume que a demanda populacional para um determinado local de serviço está influenciada pela disponibilidade de outros locais de serviço próximos. Praticamente, este 3SFCA atribui um peso de competição baseado no tempo de transporte a cada local de serviço. No primeiro passo é determinada uma área de cobertura para i baseada em um tempo de condução. Esta zona é dividida em três subzonas ao igual que no E2SFCA. Todos os locais de serviço são procurados e é atribuído um peso Gaussiano para cada local baseado na subzona onde ele se encontre. O peso de competição ou de seleção G_{ij} entre a população i e o local de serviço j é calculado como:

$$G_{ij} = \frac{T_{ij}}{\sum_{k \in \{d_{ik} < d_0\}} T_{ik}}, \quad (1.13)$$

onde d_{ik} é o custo de transporte desde i até qualquer ponto de serviço k dentro de d_0 e T_{ij} e T_{ik} são os pesos atribuídos a j e k respectivamente. No segundo passo é determinada uma área de cobertura para cada local de serviço j e esta área é dividida em subzonas usando o mesmo procedimento do passo 1 e é procurada a população k e computada a razão serviço-população R_j :

$$\begin{aligned} R_j &= \frac{S_j}{\sum_{r=1}^3 \sum_{k \in D_r} G_{kj} P_k W_r} \\ &= \frac{S_j}{\sum_{k \in D_1} G_{kj} P_k W_1 + \sum_{k \in D_2} G_{kj} P_k W_2 + \sum_{k \in D_3} G_{kj} P_k W_3}, \end{aligned} \quad (1.14)$$

onde S_j é a capacidade do serviço j , W_r é a impedância da r -ésima subzona, G_{kj} é o peso de competição ou de seleção entre j e a população k e P_k é o tamanho da população k . O terceiro passo é computar a acessibilidade espacial da população i aos locais de serviço j :

$$\begin{aligned} A_i^F &= \sum_{r=1}^3 \sum_{j \in D_r} G_{ij} R_j W_r \\ &= \sum_{j \in D_1} G_{ij} R_j W_1 + \sum_{j \in D_2} G_{ij} R_j W_2 + \sum_{j \in D_3} G_{ij} R_j W_3, \end{aligned} \quad (1.15)$$

onde R_j é a razão serviço-população, G_{ij} é o peso de competição entre i e j e W_r é o peso Gaussiano da subzona D_r . Este modelo ainda apresenta a dificuldade de considerar uma mesma acessibilidade para a população encontrada em uma mesma subzona. Entretanto, pode ser solucionado via introdução do peso de Gauss, como feito no modelo E2SFCA por Polo, Mera e Dias (2013).

O presente estudo aborda o problema de superestimação e subestimação das metodologias clássicas apresentadas previamente. Adicionalmente, no presente trabalho, ao invés de definir zonas *buffer* em torno dos locais de serviço com base na distância Euclideana, foram calculadas as distâncias ao longo de uma rede de transporte usando a metodologia do caminho mais curto baseada no algoritmo de Dijkstra, esta última sem considerar mão de direção por se tratar de um modelo para pedestres. Para solucionar a dificuldade do modelo 3SFCA, neste trabalho estamos propondo uma alteração baseada na introdução de: a) uma função de impedância que desconta continuamente o acesso dentro das diferentes zonas e de b) um coeficiente de atrito, desenvolvendo assim o modelo E3SFCA. Espera-se que o modelo resultante do presente trabalho, permita o cálculo da acessibilidade espacial de diversas ações em saúde e auxilie no planejamento de diferentes programas de saúde pública em áreas urbanas da América Latina. Além da análise de acessibilidade, o presente trabalho utilizou modelos de locação-alocação integrados no ambiente GIS para propor uma locação estratégica dos serviços, com a finalidade de fornecer uma ótima acessibilidade espacial e auxiliar na adequada utilização dos recursos financeiros e humanos.

1.2 Modelos de locação - alocação espacial

Os modelos de locação - alocação espacial (MLA) têm sido utilizados para auxiliar o planejamento de serviços públicos e privados (RAHMAN; SMITH, 2000). Estes modelos fornecem uma estrutura para investigar problemas de acesso aos serviços, localizar instalações em uma área nova, avaliar a eficiência da locação espacial dos serviços anteriormente planejados e gerar alternativas para relocar um serviço existente fazendo-o mais eficiente (RAHMAN; SMITH, 2000). A integração dos MLA nos sistemas de informação geográfica representa uma ferramenta poderosa para suportar as decisões de planejamento espacial de diferentes programas. Alguns exemplos incluem a Eaton (1982) que usou modelos de máxima cobertura para alocar clínicas em zonas rurais da Colômbia, Rahman e Smith (2000) que abordaram o problema de encontrar locais adicionais para serviços de saúde em Bangladesh e, Eaton et al., (1986) que estudaram o problema de alocar ambulâncias em República Dominicana para maximizar a cobertura da demanda. Os modelos da mínima impedância e da máxima cobertura têm sido os mais utilizados e tratam-se dos mais eficientes para auxiliar no planejamento dos serviços públicos (DASKIN; DEAN, 2004).

1.2.1 Modelo de mínima impedância

Este modelo também conhecido como o modelo p -mediana é um dos modelos mais comumente utilizados no planejamento de programas para o controle de doenças. Neste modelo, dada uma demanda são determinados um número (p) de instalações, de

modo que o total dos pesos da distância ou tempo de transporte entre as instalações e a demanda são minimizados. Isto assumindo que os usuários do serviço usam a instalação mais próxima. O modelo de p -mediana pode ser expressado como:

Minimizando

$$\{Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i d_{ij} x_{ij}\} \quad (1.16)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i, \quad (1.17)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = p, \quad (1.18)$$

$$x_{ij} \leq x_{ij} \quad \forall i, j,$$

$$x_{ij} = 0, 1 \quad \forall i, j,$$

onde $x_{ij} = 1$ se a demanda i é atribuída à instalação j e $x_{ij} = 0$ no caso contrário, n é o número de pontos de demanda, α_i a demanda no ponto i , d_{ij} a distância menor entre a demanda i e os locais de serviço j e p é o número de locais de serviço (instalações) a serem alocados.

1.2.2 Modelo de máxima cobertura

Este modelo busca maximizar a população que pode ser atendida, dentro de uma distância limite, por um número dado de locais de serviço (DASKIN; DEAN, 2004). As instalações são escolhidas de modo que todas ou a maior quantidade da demanda esteja dentro do limite de distância S especificado. Este modelo pode ser entendido como:

Maximizando

$$\{z = \sum_{i \in I} \alpha_i y_i\} \quad (1.19)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i, \quad 1 \leq i \leq n, \quad (1.20)$$

$$\sum_{j \in N_i}^n x_j = p, \quad (1.21)$$

$$x_j = 0, 1 \quad \forall j,$$

$$y_i = 0, 1 \quad \forall i,$$

onde $x_j = 1$ se a instalação está locada em j e $x_j = 0$ no caso contrário, $y_i = 1$ se a demanda de i se encontra sob cobertura de j e $y_i = 0$ no caso contrário, $N_i = \{j | d_{ij} \leq S\}$ é o conjunto de instalações que podem ser elegidas para fornecer cobertura à demanda i , S é a distância máxima de serviço, n , α_i , d_{ij} e p representam o mesmo do modelo da mínima impedância.

2 OBJETIVOS

- Desenvolver um método que permita o cálculo da acessibilidade espacial potencial de diversas ações em saúde e auxilie no planejamento de diferentes programas de saúde pública em áreas urbanas da América Latina.
- Abordar e resolver o problema de superestimação derivado do uso da metodologia de análise de cobertura espacial e de subestimação derivado das anteriores metodologias de acessibilidade espacial potencial.
- Aplicar o método desenvolvido nos programas de vacinação contra a raiva e de esterilização para cães e gatos da cidade de Bogotá, Colômbia com a finalidade de validar o método.
- Usar modelos de locação-alocação integrados no ambiente GIS para propor uma locação estratégica dos programas de vacinação contra a raiva e de esterilização para cães e gatos da cidade de Bogotá, Colômbia, a fim de garantir a acessibilidade espacial potencial a estes programas e auxiliar na adequada utilização dos recursos financeiros e humanos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo e bancos de dados

Para a avaliação e validação do método foram analisados os programas de vacinação contra a raiva e de esterilização para cães e gatos da cidade de Bogotá DC. Esta área de estudo localizada no centro da Colômbia, conta com 7.363.782 habitantes (DANE, 2005), 631.276 cães e 131.344 gatos (VEGA; ESPINOSA; CASTILLO 2007) na zona urbana. A cidade encontra-se dividida em 20 localidades sendo que 19 estão contidas na área urbana (Figura 3.1). Para representar a população alvo dos programas estudados, foram utilizadas as coordenadas geográficas dos domicílios da zona urbana da cidade, obtidas do site da Infraestrutura de Dados Espaciais para o Distrito Capital - IDECA (IDECA, 2012). As populações de cães e gatos foram representadas usando as estimativas do número de cães por domicílio em cada localidade (VEGA; ESPINOSA; CASTILLO 2007). Assim, foram criados pontos aleatórios a partir da camada de domicílios com o valor da estimativa populacional por cada localidade.

3.1.1 Programa de esterilização para cães e gatos

Foram avaliadas a acessibilidade realizada e potencial ao programa de esterilização para cães e gatos da cidade de Bogotá D.C., no período de dezembro de 2010 a novembro de 2011, e foi proposta a localização ideal deste programa para atingir diferentes taxas de esterilização. Este programa é realizado pela Secretaria Distrital de Saúde através do Centro de Controle de Zoonoses e dos hospitais públicos distritais de primeiro

Figura 3.1: Mapa das 19 localidades que conformam a área urbana da cidade de Bogotá, Colômbia com a rede de transporte que corresponde a área urbana e as barreiras hídricas consideradas nas análises - Bogotá - 2013

Fonte: (POLO, 2013)

nível de atenção, utilizando unidades móveis e oferecendo gratuitamente o procedimento cirúrgico de esterilização nas vinte localidades que conformam a cidade (BOGOTÁ D.C., 2012). Os endereços dos locais de esterilização e das pessoas que usaram o serviço no período de estudo foram obtidos da base de dados dos hospitais públicos de primeiro nível de atenção de cada localidade. Para garantir a acurácia do proceso, os 257 endereços dos locais de serviço foram georeferenciados manualmente usando a camada de ruas da cidade. Os endereços dos 23.347 usuários foram convertidos em coordenadas geográficas utilizando o aplicativo Batch Geocoding (ZWIEFELHOFER, 2012), considerando só aquelas conversões com uma acurácia maior a 7 segundo a classificação proposta por Zwiefelhofer, (2012) apresentada no quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Descrição dos diferentes níveis de acurácia do aplicativo Geocoding

Acurácia	Descrição
0	Endereço desconhecido
1	País
2	Região (estado, província, etc)
3	Sub-região (Municipalidade, condado)
4	Povoado (cidade, aldeia)
5	Correio (código CEP)
6	Rua
7	Interseção de ruas
8	Endereço exato
9	Propriedade (edifício, casa)

Fonte: (ZWIEFELHOFER, 2012)

3.1.2 Programa de vacinação contra a raiva

Foi estimada a acessibilidade potencial ao programa de vacinação contra a raiva da cidade de Bogotá D.C., no ano de 2011. O número de animais vacinados por posto e os endereços dos locais de vacinação contra a raiva no período de estudo foram obtidos

do site da Secretaria Distrital de Saúde (BOGOTÁ D.C., 2012). Os endereços dos locais de vacinação foram georeferenciados manualmente usando a camada de ruas da cidade. Na Colômbia, a raiva animal e humana continua sendo um problema de saúde pública, apesar dos esforços de vacinação realizados desde a década de 1960. Em Bogotá, as campanhas de vacinação para cães e gatos têm controlado a incidência de casos de raiva mesmo com taxas de vacinação consideravelmente baixas, estimadas na ordem de 40% (CEDIEL; VILLAMIL; ROMERO, 2010). Em 2007, encontrou-se que em Bogotá D.C., a porcentagem de caninos protegidos sorologicamente contra o vírus da raiva era de 24,5% e concluiu-se que, caso ocorresse um surto desta enfermidade causado pela imigração de caninos infectados de qualquer região do país, o vírus poderia ser transmitido facilmente entre os cães constituindo-se em um grave problema de saúde pública (PAEZ et al., 2007). Não obstante, desde o ano 1982 não se apresentaram casos de raiva humana na capital e desde o ano 2001 não se reportaram casos em animais (BOGOTÁ, 2008). No ano 2012, na capital do país, foi notificado um caso de raiva em uma pessoa procedente da região oeste do país tendo sido confirmada a variante AgV4 (WALTEROS; CASTRO, 2012).

3.2 Análise dos dados

3.2.1 Cálculo das distâncias

Foi avaliado o problema de superestimação associado ao uso da distância Euclideana (distância em linha reta) em relação ao uso da distância calculada ao longo de uma rede de transporte usando o método do caminho mais curto baseado no algoritmo de Dijkstra (1959). Foram calculadas as áreas de cobertura espacial dos locais de esterilização e de vacinação contra a raiva mediante a criação de a) zonas *buffer* ao redor dos pontos de serviço baseadas na distancia Euclideana e b) áreas de serviço com base no método do

caminho mais curto ao longo da rede de transporte. Para estas últimas foram consideradas barreiras hídricas, tais como rios, lagos e canais (Figura 3.1). O procedimento do cálculo da distância Euclideana tem a vantagem de ser bastante simples e amplamente utilizado, mesmo tratando-se de um método não acurado devido ao fato de os pedestres, para se deslocarem, seguirem as ruas e não caminharem em linha reta do domicílio até o ponto de interesse. Dado um limite de distância d_0 , de por exemplo 1000 metros, a área da zona *buffer* é constante (πd_0^2), mas o tamanho da área de serviço criada com a rede de transporte, para o mesmo d_0 , é variável. Esta variação depende da localização do local de serviço na rede de transporte. As áreas de cobertura determinadas usando a distância Euclideana são maiores que aquelas obtidas com a distância usando a rede de transporte, de tal modo que o primeiro método superestima o tamanho das áreas de cobertura dos serviços e é menos aplicável às condições das zonas urbanas, como é ilustrado na figura 3.2. Devido a este achado, neste trabalho, todas as distâncias foram calculadas mediante o método do caminho mais curto baseado no algoritmo de Dijkstra e recorrendo a rede de transporte da cidade de Bogotá D.C., criada previamente no aplicativo ArcCatalog com ajuda da extensão Network Analyst do programa ArcGis 10.1.

3.2.2 Modelo de acessibilidade potencial

A acessibilidade potencial foi calculada para os programas de vacinação contra a raiva e de esterilização para cães e gatos da cidade de Bogotá, D.C. Para representar a população alvo da cidade foram usadas as estimativas do número de cães por domicílio de Vega, Espinosa e Castillo (2007) e foram criados pontos aleatórios da camada de domicílios com o valor da estimativa populacional por cada localidade. Para representar os felinos usou-se a estimativa populacional feita no ano 2004 e devido ao desconhecimento de número de gatos por domicílio, assumiu-se que havia um gato por domicílio.

Para realizar a análise de acessibilidade potencial, solucionaram-se as dificulda-

Figura 3.2: Zona *buffer* criada usando distância Euclideana (círculo), e área de serviço criada usando o algoritmo de Dijkstra a través da rede de transporte (polígono irregular). Os dois contornos foram criados usando um rádio de 800m e não coincidem em nenhum ponto. A parte do círculo que não se encontra coberta pela área de serviço representa a área superestimada

Fonte: (POLO, 2013)

des dos modelos E2SFCA e 3SFCA propostos anteriormente por Polo, Mera e Dias (2013) e Wan, Zou e Sternberg (2012), respectivamente. Foi proposta uma alteração baseada na introdução de uma função de impedância para descontar continuamente o acesso intra-zonas e de um coeficiente de atrito. O modelo desenvolvido foi denominado de modelo E3SFCA. Neste novo modelo, os centroides ou indivíduos podem ter diferentes pesos ou valores de impedância, inclusive estando dentro da mesma zona e muito próximos. O modelo foi incorporado no programa ArcGis 10.1 e os mapas foram realizados utilizando a extensão Network Analyst (Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, CA). A validação do modelo foi conseguida mediante o uso do dados do uso atual do programa de esterilização para cães e gatos da cidade de Bogotá no período de 2010 a 2011.

Acessibilidade atual

Para validar o modelo foram comparados os resultados derivados da análise de acessibilidade espacial com os dados obtidos da análise da acessibilidade realizada baseada nos dados do uso atual do serviço. A análise da acessibilidade realizada aos pontos de esterilização foi feita recorrendo aos endereços das pessoas que utilizaram o serviço no período de dezembro de 2010 a novembro de 2011. Os endereços dos locais de serviço foram georeferenciados manualmente usando a camada de ruas da cidade e os endereços dos usuários foram convertidos em coordenadas geográficas utilizando o aplicativo Batch Geocoding (ZWIEFELHOFER, 2012).

Foram descritas uma série de informações relacionadas com as características dos usuários (i.e. especie, sexo, idade), o número de esterilizações por local de esterilização, a capacidade de cada local e a porcentagem de cobertura populacional do programa. As variáveis qualitativas foram comparadas usando o teste de Chi-quadrado e os valores médios das variáveis quantitativas foram comparados entre os caninos e os felinos usando

o teste U de Mann-Whitney. Adicionalmente, foi analisado se o tamanho populacional de cães e gatos, o número de esterilizações e a cobertura do programa correlacionavam-se com o estrato socioeconômico das diferentes localidades usando o teste de correlação de Spearman. As análises foram feitas no programa R Development Core Team (2012), versão 2.14.0 considerando um nível de significância estatística de 5%

Adicionalmente, foi medida a distância real de deslocamento de cada usuário em relação ao local de esterilização utilizado usando o algoritmo de Dijkstra's (1959) com o uso de uma rede de transporte criada com a extensão Network Analyst no software ArcGis 10.1.

3.2.3 Modelo de locação - alocação espacial

Integrando os GIS com modelos de locação-alocação foi proposta uma realocação estratégica para o programa de esterilização canina e felina e de vacinação contra a raiva da cidade de Bogotá. Para determinar a alocação destes serviços foram realizados três passos. Primeiro, foi calculada a distribuição e a densidade da população alvo. Segundo, foram aplicados os modelos de locação-alocação, definindo previamente as locações candidatas, o número de locações a serem alocadas e o tipo de modelo a ser aplicado. Finalmente, foi realizada uma análise de acessibilidade potencial à proposta de realocação dos locais de serviço.

Os locais para a alocação das unidades de esterilização e vacinação foram escolhidos de uma série de locais de interesse obtidos do catálogo de dados geográficos da Infraestrutura de dados espaciais da cidade (IDECA, 2012). Os locais assim escolhidos compreenderam: prefeituras locais, centros de atenção distrital (CADES), centros de atenção médica integral (CAMI), colégios públicos distritais, comedouros comunitários, juntas de ação comunal, salões comunais, hospitais de primeiro nível, igrejas e parques;

devido ao fato de serem estes os locais onde normalmente são prestados estes serviços à comunidade.

Das soluções propostas na extensão Network Analyst do ArcGis 10.1, foram utilizados os modelos de p -mediana e de máxima cobertura limitada. No modelo de p -mediana, os locais de esterilização são alocados de forma que a soma de todos os pesos de custo entre os pontos de demanda e de serviço sejam minimizados, enquanto que no modelo de máxima cobertura os locais são locados de forma que toda ou a maior quantidade da demanda possa ser servida, sem exceder a capacidade de qualquer instalação nem a impedância de corte. A impedância de corte utilizada neste estudo foi de 1000 m, considerando-se esta distância adequada para o deslocamento de um pedestre em Bogotá D.C (BOGOTÁ, 2011).

Foram criados seis cenários diferentes, baseados no número de locais de esterilização 257 (número atual), 500 e 1000. Estes valores variaram conforme a capacidade de cada ponto, sendo variada no modelo de mínima impedância e fixada em 310 (capacidade média atual) no modelo de máxima cobertura. Após uso dos modelos de locação-alocação foi realizada uma análise de acessibilidade espacial aos locais propostos utilizando o método E3SFCA, desenvolvido neste trabalho.

4 RESULTADOS

4.1 Modelo de acessibilidade espacial potencial - E3SFCA

Neste trabalho foi desenvolvido o modelo de três passos de área de influência flutuante (E3SFCA) baseado em uma função Gaussiana, considerando um coeficiente de atrito e distâncias ao longo de uma rede de transporte, utilizando o algoritmo de Dijkstra, para estimar a acessibilidade espacial a diferentes programas de saúde pública.

O primeiro passo do modelo é calcular o peso de competição W_{ij} entre a população i e o local de serviço j . Para isto é necessário determinar uma área de cobertura, ao longo da rede de transporte, em torno da população i usando um limite de distância d_0 . Posteriormente são procurados todos os locais de serviço dentro da área delimitada por d_0 e é atribuído o peso Gaussiano W de competição para cada local de serviço j escrito da forma:

$$W_{ij} = \frac{T_{ij}}{\sum_{k \in \{d_{ik} < d_0\}} T_{ik}} \quad (4.1)$$

onde d_{ik} é a distância de transporte desde i até qualquer ponto de serviço k dentro da área de cobertura delimitada por d_0 e, T_{ij} e T_{ik} são os pesos atribuídos a j e k respectivamente em relação ao ponto da população i . Isto assume que a demanda para um local de serviço é afetada pela proximidade de outros locais. Assim, para um centroide populacional i a acessibilidade será maior enquanto mais locais de serviço encontrem-se na área de cobertura devido à diminuição da demanda em cada local de serviço. O W_{ij} será igual a 1 se só um local de serviço estiver próximo, mas diminuirá enquanto aumente o número de alternativas disponíveis.

O segundo passo é calcular a razão R_j entre o local de serviço e a população.

Para tal deve-se gerar uma área de cobertura em torno dos locais de serviço com um limite de distância d_0 . Posteriormente, devem ser procurados os centroides da população k dentro de cada d_0 . Para cada população k é atribuído um peso usando uma função Gaussiana $G_{(d_{kj}, d_0)}$. Desta forma, a razão R_j está dada por:

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in (d_{kj} \leq d_0)} P_k G(d_{kj}, d_0) W_{ij}} \quad (4.2)$$

onde P_k é a população k dentro da área de cobertura d_0 , S_j é a capacidade do serviço j determinada pela capacidade do serviço (cirurgias ou doses de vacina), enquanto d_{kj} determina a distância de transporte entre a população k e os locais de esterilização j e $G(d_{kj}, d_0)$ é o peso de Gauss. Para o cálculo da impedância foram plotadas as funções $f(d)$ de poder inverso ($f(d) = d^{-\beta}$), exponencial ($f(d) = e^{-\beta d}$) e Gaussiana ($f(d) = e^{-d^2/\beta}$), onde β é o coeficiente de impedância que indica o decaimento da distância. Na figura 3.1 mostra-se que a função que apresenta o decaimento mais gradativo é a Gaussiana 2SFCA proposta por Dai (2010). Devido a isto, esta função é usada neste modelo adicionando-lhe um coeficiente de atrito β que representa a facilidade com que uma pessoa se desloca em uma determinada superfície. Desta forma o peso de Gauss usado é expressado como:

$$G(d_{kj}, d_0) = \begin{cases} \frac{e^{-\beta(d_{kj}/d_0)^2} - e^{-\beta}}{1 - e^{-\beta}}, & \text{if } d_{kj} \leq 0 \\ 0, & \text{if } d_{kj} > 0 \end{cases} \quad (4.3)$$

Nota-se que a função exponencial, mesmo sendo utilizada em vários trabalhos, apresenta um decaimento que atinge valores quase nulos para curtas distâncias e não se adapta a situações reais. A função Gaussiana introduzida no modelo proposto com três diferentes valores do coeficiente de atrito β (0.75, 0.5 e 0.25) é apresentada na figura 3.2. No presente trabalho foi usado um coeficiente de atrito de 0.5 por tratar-se de um valor adequado para representar a dificuldade de deslocamento de um pedestre comum em condições de estrada segundo estudos dinâmicos (MARPET, 1995) A diferença do trabalho

Figura 4.1: Gráfico das funções de poder inverso, exponencial, Gaussiana e Gaussiana 2SFCA

Fonte: (POLO, 2013)

desenvolvido anteriormente por Polo, Mera e Dias (2013), assenta no fato de neste estudo ter sido considerado que cada indivíduo alvo do serviço k (centroide populacional ou moradia), apresenta um peso de Gauss diferente G relacionado com a distância d_{kj} até o local de serviço j , sendo ainda este peso de Gauss diferente do modelo de Wan, Zou e Sternberg (2012) ao levar em consideração uma acessibilidade diferente intra-zona e considerado uma análise gráfica vetorial ao invés de matricial.

O terceiro passo consiste em buscar todos os locais de esterilização l dentro das áreas de cobertura d_0 de cada domicílio ou centroide i . Após subtrair cada R_l usando a função Gaussiana G , a razão esterilização-população é somada para obter a acessibilidade espacial da população i :

$$A_i = \sum_{k \in (d_{kj} \leq d_0)} G_{ij} R_l G(d_{il}, d_0) \quad (4.4)$$

onde l indica todos os locais de esterilização dentro da área de cobertura dos indivíduos i , G_{ij} é o peso de competição entre i e j e todas as demais anotações são as mesmas que na equação 3.2. Deve ser destacado que neste modelo é considerado que cada local da população i pode ter acesso a mais de um local de serviço j , o que elimina o problema de superestimação no cálculo de acessibilidade espacial.

Figura 4.2: Função de impedância para o modelo de acessibilidade implementado com diferentes valores do coeficiente de atrito β

Fonte: (POLO, 2013)

4.2 Acessibilidade espacial realizada

No período de dezembro de 2010 a novembro de 2011, as unidades móveis de esterilização cirúrgica se localizaram em 257 pontos distribuídos pelas dezenove localidades que compõem a zona urbana da cidade. A capacidade dos pontos variou entre 14

e 1275 esterilizações sendo a média de 310 esterilizações por local. Em cada localidade encontraram-se em média 13.5 pontos de esterilização, sendo as localidades de Barrios Unidos, Chapinero e Puente Aranda as que menor número de pontos de esterilização tiveram e San Cristobal, Ciudad Bolivar e Usme as que tiveram mais locais de esterilização. O número de locais, a capacidade de cada local e o total de esterilizações por localidade encontram-se na tabela 4.1. As localidades que apresentaram um maior número de esterilizações foram Suba, Bosa, Ciudad Bolivar e San Cristobal. No total, foram feitas 23.347 cirurgias em 13.275 caninos e 9.706 felinos. Verificou-se que 91,6% dos cães e 92,7% dos gatos esterilizados, eram fêmeas. A idade média dos cães foi de 20,1 meses e a dos gatos de 13,6 meses. O sexo e a idade dos cães e gatos usuários do serviço de cada uma das localidades encontra-se nas tabelas 4.2 e 4.3. A acurácia média obtida na geocodificação dos endereços das moradias dos usuários foi de 82,2 %. Com base nos dados coletados e nas estimativas utilizadas, estimou-se que 2,10% da população canina e 7,38% da população felina foi esterilizada (Tabela 4.4). Kennedy foi a localidade que forneceu a menor cobertura aos gatos (1,88%) e aos cães (0,45%), Usme a localidade que ofereceu a maior cobertura aos cães (3,43%) e Bosa a localidade que ofereceu a maior cobertura aos gatos (14,01%).

Tabela 4.1: Capacidade e número de esterilizações por posto de esterilização pra cães e gatos em cada uma das localidades da área urbana da cidade de Bogotá - 2010 a 2011

Localidade	Locais	Capacidade/local	Total esterilizações	Acurácia (%)
1. Usaquen	6	128	767	94,8
2. Chapinero	1	546	546	83,7
3. Santafe	8	67	536	78,7
4. San Cristobal	38	62	2352	92,8
5. Usme	33	45	1477	58,9
6. Tunjuelito	3	321	964	99,7
7. Bosa	27	100	2706	87,9
8. Kennedy	10	67	667	86,8
9. Fontibón	12	66	796	88,8
10. Engativá	1	1275	1275	-
10. Engativá (CCZ)	1	1053	1053	97,9
11. Suba	12	255	3059	93,0
12. Barrios Unidos	1	651	651	92,8
13. Teusaquillo	2	84	167	99,6
14. Los Mártires	17	33	566	79,8
15. Antonio Nariño	18	28	508	95,9
16. Puente Aranda	1	928	928	96,2
17. La Candelaria	6	14	82	63,4
18. Rafael Uribe	23	68	1566	84,2
19. Ciudad Bolivar	37	72	2681	91,4
Total	257	5863	23347	88,2

Fonte: (POLO, 2013)

Tabela 4.2: Sexo e idade dos caninos esterilizados nas diferentes localidades que compõem a área urbana da cidade - Bogotá - 2010 a 2011

Localidade	Esterilizados	Fêmeas	Machos	Idade média (meses)
1. Usaquen	401	401	0	4,79
2. Chapinero	331	331	0	
3. Santafe	271	271	0	
4. San Cristobal	1223	1223	0	23,4
5. Usme	907	907	0	21,4
6. Tunjuelito	569	569	0	23,7
7. Bosa	1538	1538	0	9,1
8. Kennedy	365	365	0	22,9
9. Fontibón	453	379	74	
10. Engativá	691	691	0	
10. Engativá (CCZ)	747	596	151	
11. Suba	1830	948	882	
12. Barrios Unidos	301	301	0	
13. Teusaquillo	88	77	11	
14. Los Mártires	297	297	0	
15. Antonio Nariño	311	311	0	24,5
16. Puente Aranda	428	428	0	24,1
17. La Candelaria	23	23	0	
18. Rafael Uribe	802	802	0	22,4
19. Ciudad Bolivar	1699	1699	0	24,3
Total	13275	12157	1118	20,4

Fonte: (POLO, 2013)

Tabela 4.3: Sexo e idade dos felinos esterilizados nas diferentes localidades que compõem a área urbana da cidade - Bogotá - 2010 a 2011

Localidade	Esterilizados	Fêmeas	Machos	Idade média (meses)
1. Usaquen	366	366	0	5,1
2. Chapinero	215	215	0	
3. Santafe	265	265	0	
4. San Cristobal	1129	1129	0	17,3
5. Usme	570	570	0	15
6. Tunjuelito	395	395	0	16,1
7. Bosa	1168	1168	0	8,67
8. Kennedy	302	302	0	16,2
9. Fontibón	343	188	155	
10. Engativá	584	584	0	
10. Engativá (CCZ)	306	68	238	
11. Suba	1229	900	329	
12. Barrios Unidos	350	350	0	
13. Teusaquillo	79	68	11	
14. Los Mártires	269	269	0	
15. Antonio Nariño	197	197	0	15,3
16. Puente Aranda	500	500	0	14,1
17. La Candelaria	59	59	0	
18. Rafael Uribe	764	764	0	13,8
19. Ciudad Bolivar	982	982	0	14,4
Total	10072	9339	733	13,5

Fonte: (POLO, 2013)

Tabela 4.4: Cobertura do programa de esterilização para cães e gatos em Bogotá nos anos 2010 -2011

Localidade	Cães			Gatos		
	População Total	Esterilizados	Cobertura(%)	População Total	Esterilizados	Cobertura(%)
1. Usaquen	57430	401	0,70	7677	366	4,77
2. Chapinero	14095	331	2,34	3720	215	5,78
3. Santafe	15446	271	1,75	4707	265	5,63
4. San Cristobal	46915	1223	2,61	16170	1129	6,98
5. Usme	26665	907	3,43	6858	570	8,31
6. Tunjuelito	19753	569	2,88	4980	395	7,93
7. Bosa	48684	1538	3,16	8335	1168	14,01
8. Kennedy	81411	365	0,45	15949	302	1,87
9. Fontibón	32828	453	1,38	6590	343	5,20
10. Engativá	72804	1438	1,98	8689	895	10,3
11. Suba	78482	1830	2,33	16061	1229	7,65
12. Barrios Unidos	18444	301	1,63	5941	350	5,89
13. Teusaquillo	13594	88	0,65	4257	79	1,88
14. Los Mártires	10235	297	2,90	2547	269	10,56
15. Antonio Nariño	9534	311	3,26	2838	197	6,94
16. Puente Aranda	26217	428	1,63	5018	500	9,96
17. La Candelaria	3311	23	0,69	1655	59	3,56
18. Rafael Uribe	37426	802	2,14	5689	764	13,43
19. Ciudad Bolivar	71602	1699	2,37	16843	982	5,83
Total	631276	13275	2,01	131344	9706	7,38

A distância de cada usuário em relação ao local de esterilização utilizado foi calculada com o método do caminho mais curto baseado no algoritmo de Dijkstra, ao longo da rede de transporte da cidade. A distância média de deslocamento foi de 2.148 metros nos cães e de 1.799 metros nos gatos. As distâncias média, mínima e máxima por localidade para os caninos encontram-se na tabela 4.5, e para os felinos na tabela 4.6.

Tabela 4.5: Distância média de deslocamento e distâncias mínima e máxima dos usuários caninos em relação aos locais utilizados em cada localidade - Bogotá - 2010 a 2011

Localidade	Distância média (m)	Distância mínima (m)	Distância máxima (m)
1. Usaquen	969,8	125,8	2496,7
2. Chapinero	6883,9	1038,7	11177,9
3. Santafe	544	33,8	2288,9
4. San Cristobal	873	183,2	2180,4
5. Usme	1740	906	3908
6. Tunjuelito	2088,2	148,6	3065,3
7. Bosa	503,7	111,4	1210,2
8. Kennedy	1943,6	390,3	4825,7
9. Fontibón	1813,8	28,7	5787,9
10. Engativá (CCZ)	7187	293,7	21661,5
11. Suba	1528,4	182,3	10987,7
12. Barrios Unidos	1644,9	292,2	3856,8
13. Teusaquillo	2396,2	1777,8	5322,5
14. Los Mártires	1993,8	147,9	3065,2
15. Antonio Nariño	331,6	78,2	1483,8
16. Puente Aranda	2862	534,8	5448,2
17. La Candelaria	354,3	123,9	676,1
18. Rafael Uribe	3733,9	1539,3	5346,6
19. Ciudad Bolivar	1409	79,1	6242,2
Total	2148	421,9	5209,1

Fonte: (POLO, 2013)

Tabela 4.6: Distância média de deslocamento e distâncias mínima e máxima dos usuários felinos em relação aos locais utilizados em cada localidade - Bogotá - 2010 a 2011

Localidade	Distância média (m)	Distância mínima (m)	Distância máxima (m)
1. Usaquen	1140,8	94,9	2496,7
2. Chapinero	6538,2	1225,2	11129,3
3. Santafe	481,2	38,9	2106,9
4. San Cristobal	848,6	159,2	2180,3
5. Usme	914,3	652,4	3401,9
6. Tunjuelito	1993,8	147,9	3065,2
7. Bosa	550,8	31,3	1348,3
8. Kennedy	2032,1	337,9	4496,5
9. Fontibón	1522	343,7	5787,9
10. Engativá (CCZ)	6922	282,3	21876
11. Suba	1544,1	542,1	4415
12. Barrios Unidos	1720,5	79,6	5944,6
13. Teusaquillo	1779,9	403,2	5583,1
14. Los Mártires	567,4	269,8	2571
15. Antonio Nariño	336,4	52,1	873,2
16. Puente Aranda	2864	472	5448,2
17. La Candelaria	415,8	170,4	676
18. Rafael Uribe	432,4	227,1	1427,8
19. Ciudad Bolivar	1576,1	52,3	8258,6
Total	1799	293,8	4899,3

Fonte: (POLO, 2013)

Quando foram comparados os resultados entre a população de felinos e caninos não foram observadas diferenças nos valores da distância média percorrida pelos usuários de ambas espécies ($p = 0,36$). No entanto, observou-se que os usuários caninos deslocaram-se a uma distância maior para chegar até o serviço de esterilização. A cobertura do programa de esterilização foi significativamente maior para os felinos ($p = 0.003$) no período de estudo. Por outro lado, encontrou-se que o estrato socioeconômico

das diferentes localidades correlacionou-se negativamente mas não significativamente com a população de cães ($p = 0,72$) e gatos ($p = 0,09$), tal como para a cobertura do programa de esterilização na população de cães ($p = 0,19$) e gatos ($p = 0,17$). Contudo, encontrou-se uma correlação negativa e significativa entre o estrato socioeconômico e o número de cães ($p = 0,01$) e gatos esterilizados ($p = 0,02$), o que significa que o número de animais esterilizados foi maior nas localidades com estrato socioeconômico baixo. O mapa da estratificação socioeconômica da cidade encontra-se no anexo A.

4.3 Aplicação e validação do modelo de acessibilidade espacial potencial

4.3.1 Programa de esterilização para cães e gatos

Para representar a população alvo foram usadas as estimativas do número de cães e gatos por domicílio (VEGA; ESPINOSA; CASTILLO, 2007) e a camada de domicílios da cidade (IDECA, 2012). O número de domicílios com cão e gato são representados na tabela 4.7. A distribuição espacial dos locais de esterilização em relação à densidade da população alvo de cães e gatos encontra-se na figura 4.4. Nos mapas, observa-se uma maior concentração dos pontos de esterilização na zona sul da cidade em comparação com a zona norte. Esta zona sul alberga a maior quantidade da população de estratos socioeconômicos 1 e 2 (Anexo A). Adicionalmente, observa-se uma agrupação dos locais de esterilização na zona oriental da cidade, a qual coincide com uma zona de alta densidade populacional. As localidades de Suba, Engativá, Fontibón, Chapinero e Usaquen apresentam uma alta densidade populacional e poucos locais de esterilização. A zona pertencente às localidades de Barrios Unidos, Teusaquillo e Puente Aranda apresenta uma baixa densidade populacional e poucos locais de esterilização.

A cobertura espacial do programa foi calculada em 65,7% utilizando zonas *buffer* circulares e em 48,4% utilizando distâncias ao longo da rede de transporte, mostrando-se em ambas situações uma maior cobertura na zona sul da cidade (Figura 4.5). Isto reflete a superestimação derivada do uso de zonas *buffer* em torno de locais de serviço, a qual considera que as pessoas se deslocam em linha reta.

A acessibilidade espacial potencial da população de cães e gatos aos locais de esterilização utilizando o método E3SFCA encontra-se na figura 4.6. Em geral, a zona sul da cidade, correspondente à área com maior quantidade de pontos de esterilização, apresentou uma melhor acessibilidade ao programa e uma baixa acessibilidade em algumas áreas da zona periférica. As zonas central e norte da cidade apresentam baixa e nula acessibilidade ao programa. Observam-se pequenas áreas com alta acessibilidade, representadas com a cor verde, nas localidades de Usaquen, Suba, Fontibón, Usme e San Cristobal. Estas áreas verdes correspondem a zonas de alta densidade de pontos de esterilização e no caso das localidades de Usaquen e Suba correspondem com áreas de baixa densidade populacional. Evidencia-se que a metodologia clássica de análise de cobertura espacial superestima o uso tido pelo programa de esterilização para cães e gatos quando comparada com a metodologia de acessibilidade espacial. Esta última reflete mais acuradamente o cenário real do uso do programa observado na tabela 4.4. Para evidenciar isto, e desta forma validar a efetividade do modelo o mapa da figura 4.6 apresenta as porcentagens da cobertura populacional fornecida pelo programa de esterilização usando os dados reais das unidades móveis que forneceram o programa no período de dezembro de 2010 a novembro de 2011. Em geral, a população teve uma baixa cobertura ao programa o que concorda com a análise de acessibilidade potencial (Figura 4.5). Adicionalmente, a menor percentagem de cães e gatos esterilizados encontrou-se nas localidades da área central, oeste e nordeste da cidade. A maior cobertura populacional se observou na zona sudeste e parte da zona oeste da cidade. Este padrão geográfico concorda perfeitamente com o obtido da análise de acessibilidade espacial potencial do modelo E3SFCA apresentado na figura 4.5 que mostra de igual forma que a zona sul da cidade, correspondente à área com maior quantidade de pontos de esterilização, apresenta uma melhor acessibilidade ao pro-

grama e revela as zonas central e norte da cidade com nula ou baixa acessibilidade. Com isto pode se determinar que o modelo desenvolvido neste trabalho pode ser usado com precisão para avaliar a acessibilidade potencial e o uso que se está tendo dos programas.

Tabela 4.7: Número de domicílios e de cães e gatos por domicílio segundo as estimativas de Vega, Espinosa e Castillo (2007)

Localidade	Domicílios	Domicílios com cão	Domicílios com gato
1. Usaquen	87654	41740	7677
2. Chapinero	33569	13428	3720
3. Santafe	29945	17614	4707
4. San Cristobal	115808	55146	16170
5. Usme	90382	43039	6858
6. Tunjuelito	42893	20425	4980
7. Bosa	149012	74509	8336
8. Kennedy	220247	81573	15949
9. Fontibón	65689	29859	6590
10. Engativá	187058	71945	8689
11. Suba	211297	88040	16061
12. Barrios Unidos	56630	24621	5941
13. Teusaquillo	37134	14282	4257
14. Los Mártires	36173	15727	2547
15. Antonio Nariño	30123	12551	2838
16. Puente Aranda	84244	33697	5018
17. La Candelaria	7669	3486	1655
18. Rafael Uribe	96035	40015	5689
19. Ciudad Bolivar	163606	81803	16843
Total	1725792	763500	144525

Fonte: (POLO, 2013)

Figura 4.3: Distribuição espacial dos locais de esterilização em relação à densidade populacional de a) cães e b) gatos - Bogotá - 2013

Fonte: (POLO, 2013)

Figura 4.4: Mapas comparativos da população coberta pelo programa de esterilização usando a) zonas *buffer* circulares e b) zonas de distâncias em rede - Bogotá - 2013

Fonte: (POLO, 2013)

Figura 4.5: Acessibilidade espacial da população de cães e gatos aos locais de esterilização utilizando a metodologia E3SFCA - Bogotá - 2013

Fonte: (POLO, 2013)

Figura 4.6: Cobertura populacional aos locais de esterilização para cães e gatos usando os dados das unidades que forneceram o serviço no período de dezembro de 2010 a novembro de 2011 - Bogotá - 2013

Fonte: (POLO, 2013)

4.3.2 Programa de vacinação contra a raiva

No ano de 2011 foram dispostos 240 locais de vacinação contra a raiva que realizaram 388,157 vacinações, sendo 1617 a capacidade média dos pontos. Do total de locais foram geocodificados 236, devido à falta dos endereços dos 4 restantes. A distribuição espacial dos locais de vacinação em relação à densidade populacional de cães e gatos encontra-se na figura 4.7. Observa-se uma maior concentração de pontos de vacinação no sul da cidade, evidenciando o esforço do serviço público para cobrir estas áreas de menor estratificação econômica (ANEXO A). A localização dos pontos coincide com a maior densidade populacional dos gatos e dos cães.

A cobertura espacial do programa foi calculada em 78,4% usando zonas *buffer* circulares e em 60,2% utilizando distâncias ao longo da rede de transporte (Figura 4.8), mostrando-se em ambas situações, uma maior cobertura na zona sul da cidade. As distâncias foram calculadas usando um rádio de 800 metros em ambas metodologias. Estes resultados refletem a superestimação derivada do uso de zonas *buffer* em torno dos serviços oferecidos. A acessibilidade espacial potencial aos pontos de vacinação contra a raiva para cães e gatos utilizando o método de três passos de área de influência flutuante baseado em uma função Gaussiana (E3SFCA) encontra-se na figura 4.9. Observam-se áreas com baixa acessibilidade no norte da cidade, principalmente para a população canina. As zonas periféricas, igualmente, apresentam baixa acessibilidade, o que representa um risco, devido a que estas áreas representam uma divisão entre a zona rural e urbana e um maior ingresso de pessoas deslocadas das zonas rurais. A população felina apresenta uma maior acessibilidade aos locais de vacinação, provavelmente devido ao menor número de animais. Porém, para as duas espécies, áreas com alta densidade populacional observam-se no sudoeste e sul da cidade. Igualmente, evidencia-se uma superestimação da metodologia clássica de análise de cobertura quando comparada com a metodologia de acessibilidade espacial.

Figura 4.7: Distribuição espacial dos locais de vacinação contra a raiva em relação à densidade populacional de a) cães e b) gatos - Bogotá - 2013

Fonte: (POLO, 2013)

Figura 4.8: Mapas comparativos da população coberta pelo programa de vacinação contra a raiva usando a) zonas *buffer* circulares e b) zonas de distâncias em rede - Bogotá - 2013

Fonte: (POLO, 2013)

Figura 4.9: Acessibilidade espacial aos locais de vacinação contra a raiva para a população de cães e gatos usando a metodologia E3SFCA - Bogotá - 2013

Fonte: (POLO, 2013)

4.4 Locação-alocação espacial

Para propor diferentes estratégias de alocação para os programas de vacinação contra a raiva e de esterilização canina e felina de Bogotá, foram utilizados os problemas de p -mediana e de máxima cobertura limitada, ambos com uma distância limite de 1 Km. As figuras 4.10 e 4.11 mostram os resultados dos modelos de locação-alocação. Pode-se observar uma diferença em relação ao tipo de modelo utilizado, o número de pontos considerados e à capacidade dos pontos. Usando o modelo da mínima impedância (Figura 4.10), os locais de esterilização encontram-se dispersas na área inteira, enquanto que no modelo de máxima cobertura (Figura 4.11), os locais de esterilização estão concentrados nas áreas de maior densidade populacional de cães e gatos.

O número de pontos foi de 257 (número de locais de esterilização atual), 500 e 1000 (número atual de locais de vacinação). Sendo que a figura 4.11a mostra o cenário atual do programa de esterilização, porém com uma distribuição dos locais mais estratégica, dando prioridade às áreas de maior densidade populacional. No caso do modelo de máxima cobertura limitada, foi determinada uma capacidade de 300 vacinações ou esterilizações, por se tratar da capacidade média atual do programa de esterilização para cães e gatos da cidade.

Adicionalmente, observa-se que conforme aumenta o número de pontos a cobertura dos serviços é maior nos dois modelos. Para cada modelo foi obtida uma tabela dos lugares escolhidos pertencentes às prefeituras locais, centros de atenção distrital (CADES), centros de atenção médica integral (CAMI's), colégios públicos distritais, comedouros comunitários, juntas de ação comunal, salões comunais, hospitais de primeiro nível, igrejas e parques (Figura 4.12).

As figuras 4.13 e 4.14 mostram a acessibilidade espacial aos serviços localizados segundo os modelos de mínima impedância e de máxima cobertura limitada que consideram 1000 locais. Os locais com maior acesso no modelo de máxima cobertura encontram-se na zona sul da cidade devido à maior quantidade de pontos nesta região. A acessibilidade obtida da localização dos serviços derivada dos modelos de locação foi melhor quando comparada com a acessibilidade obtida da localização atual dos locais de serviço. A acessibilidade mostrou-se melhor no modelo de máxima cobertura devido a sua estratégia de distribuição espacial dos locais de serviço.

Figura 4.10: Resultado do modelos de locação alocação usando o modelo de mínima impedância - Bogotá - 2013

Fonte: (POLO, 2013)

Figura 4.11: Resultado dos modelos de locação alocação usando o modelo de máxima cobertura limitada considerando uma capacidade de 300 - Bogotá - 2013

Fonte: (POLO, 2013)

Figura 4.12: Zoom de alguns locais selecionados nos modelos de locação alocação - Bogotá - 2013

Fonte: (POLO, 2013)

Figura 4.13: Acessibilidade espacial aos 1000 locais de esterilização propostos no modelo de máxima cobertura limitada - Bogotá - 2013

Fonte: (POLO, 2013)

Figura 4.14: Acessibilidade espacial aos 1000 locais de esterilização propostos no modelo de mínima impedância - Bogotá - 2013

Fonte: (POLO, 2013)

5 DISCUSSÃO

Neste trabalho foi proposto o modelo de três passos de área de influência fluante (E3SFCA) para calcular a acessibilidade espacial e auxiliar no planejamento de diferentes programas de saúde pública. A metodologia foi aplicada nos programas de vacinação contra a raiva e de esterilização para cães e gatos da cidade de Bogotá, Colômbia. A maior vantagem deste método residiu na sua mais razoável pressuposição da distância, considerando uma impedância relacionada com a distância para cada indivíduo da população e a possibilidade de cada indivíduo ou centroide populacional ter acesso a mais do que um local de serviço. Assim, esta abordagem permitiu uma análise mais realista do uso dos serviços em comparação com as medidas de cobertura espacial, amplamente utilizadas na saúde pública (SHENGELIA et al., 2005).

A distância ao longo da rede de transporte revelou uma medida mais realista do que aquela calculada usando a distância Euclideana. O método de calcular zonas *buffer* circulares ao redor dos locais de serviço é amplamente usado em estudos de acessibilidade devido à facilidade do seu cálculo (GARCIA-PALOMARES; CARDOZO; GUTIERREZ, 2008), assumindo que a distância percorrida por uma pessoa que se transporta a pé até um determinado serviço é a mesma obtida no cálculo da distância Euclideana. No entanto, a distância real percorrida é maior devido ao desenho das ruas. Como resultado, o método de zonas *buffer* (distância em linha reta) tende a superestimar a área de cobertura. Por este motivo, neste trabalho as distâncias foram calculadas ao longo da rede de ruas da cidade com base no método do caminho mais curto usando o algoritmo de Dijkstra. Em conformidade, alguns estudos indicam que a distância usando redes de transporte apresenta resultados mais acurados do que as distâncias métricas de Manhattan e Minkowski, além da distância Euclideana, igualmente utilizadas para simular viagens de pedestres (SHAHID et al., 2009). No presente estudo, quando foram avaliadas as distâncias percorridas observou-se uma maior distância de deslocamento para os cães

fazerem uso do serviço de esterilização do que os gatos. Isto pode ser devido à dificuldade que representa transportar gatos na cidade. Este resultado sugere que para garantir o uso potencial dos serviços enfocados nestas espécies, a distância limite de uso deve ser menor nas áreas que apresentem uma maior densidade populacional de felinos. Adicionalmente, na análise de acessibilidade realizada observou-se que as pessoas usuárias de um de um determinado ponto se concentraram na localidade fornecedora do serviço, entretanto os usuários do Centro de Controle de Zoonoses (CCZ) se deslocaram desde outras localidades, percorrendo assim as distâncias maiores. Isto pode ser devido ao fato dos locais de serviço oferecidos nas localidades restringirem o uso do serviço aos moradores da respectiva localidade, o que não acontece no CCZ, já que este último aceita pessoas da cidade inteira e oferece tanto o serviço de esterilização quanto o de vacinação contra a raiva para cães e gatos.

Neste estudo os locais de esterilização e de vacinação contra a raiva foram geocodificados manualmente, atingindo uma acurácia de 100%. Por outro lado, a geocodificação dos usuários do serviço de esterilização foi feita de forma automatizada devido à acurácia reportada deste método (BELL et al., 2012b). Para geocodificar alguns usuários foi necessário recorrer à correção manual dos endereços. Os usuários que não foram geocodificados satisfatoriamente tinham endereços incompletos ou inexistentes. A acurácia obtida do processo de geocodificação foi de 82%. Estudos têm contribuído para o entendimento do erro derivado à geocodificação e ao grau em que estes erros afetam as medidas de acessibilidade aos serviços de saúde (BELL et al., 2012b). Estes estudos revelam que aqueles métodos que incluem tanto a localização do código postal quanto do endereço são os mais acurados, e que os resultados das análises de acessibilidade não variam significativamente ao utilizar diferentes métodos de geocodificação (BELL et al., 2012b).

O padrão geográfico dos resultados de acessibilidade espacial revelou uma maior quantidade de locais de serviço na zona sul da cidade, zona coincidente com as localidades de estrato sócio-econômico mais baixo. Isto revela o grande esforço do serviço público para atender estas áreas de forma a fornecer um programa não equitativo e descuidando outras áreas com alta densidade populacional. Áreas com baixa acessibilidade foram também

observadas em áreas com baixa densidade populacional e com poucos pontos, coincidindo estas áreas com zonas de alto nível socioeconômico. O modelo E3SFCA identificou a periferia da cidade com uma zona de baixa acessibilidade espacial aos programas de vacinação contra a raiva e de esterilização, considerando-la uma área isolada para ambos serviços. Esta área periférica em Bogotá é uma zona crítica por se tratar de uma interface entre as zonas rural e urbana, o que representa um risco para a reintrodução do vírus da raiva. Adicionalmente, a população felina apresentou maiores valores de acessibilidade devido à menor densidade de animais desta espécie na cidade.

Quanto à validade do modelo de acessibilidade proposto, os resultados qualitativos obtidos da análise de acessibilidade realizada dos programas concordam com aqueles obtidos no modelo de acessibilidade potencial. Assim, por exemplo, a localidade de Kennedy apresentou a menor cobertura do programa e igualmente uma acessibilidade muito baixa. As localidades de Usme e Bosa apresentaram a maior cobertura para os cães na análise dos dados do ano de 2011 e no modelo de acessibilidade foi determinado que estas localidades correspondem a regiões de maior acessibilidade espacial. A localidade de Bosa apresentou a maior cobertura para os gatos e igualmente apresentou a maior acessibilidade potencial para estes. Isto mostra que o modelo proposto no presente trabalho reflete com precisão a acessibilidade espacial dos pontos de serviço. Portanto, o cálculo de acessibilidade usando o modelo proposto resulta em uma medida do uso tido dos serviços. A análise da cobertura fornece dados errôneos associados com o acesso, dado que apenas reflete a capacidade espacial do ponto e não considera a capacidade do ponto, as condições de transporte nem o tamanho da população alvo. A análise do serviço atual revelou uma cobertura populacional de 2,1% para os cães e de 7,1% para os gatos, enquanto que a análise de cobertura usando a metodologia clássica de gerar zonas *buffer* em torno dos serviços revelou uma cobertura espacial de 65% e uma cobertura de 48,4% usando áreas de serviço, o que não concorda com os dados reais. Entretanto, os resultados derivados da análise do serviço realizado concordam com os resultados obtidos da análise de acessibilidade espacial potencial, o que novamente verifica a eficácia do modelo proposto. Assim sendo pode-se afirmar que o método de cobertura superestima o uso tido pelos serviços.

As funções de impedância foram escolhidas por se tratar das mais implementadas em diferentes trabalhos (IACONO; KRIZEK; EL-GENEIDY, 2010; DAI, 2010). Reggiani, Bucci e Russo (2011) encontraram que a função de decaimento de poder era a mais adequada para modelar grandes distâncias. Porém, neste trabalho, foi utilizada a função Gaussiana proposta por Dai (2010) já que foi esta que apresentou o decaimento mais gradativo a grandes distâncias. A integração do valor do coeficiente de atrito na função de Dai (2010) gera um modelo de acessibilidade espacial que representa mais realisticamente as condições dos pedestres (MARPET, 1995; BLANCHETTE; BRAULT; POWERS, 2011). Foi utilizado o valor do coeficiente de atrito de 0.5 por se tratar de um valor seguro para a caminhada em vários tipos de solo (BELL et al., 2012a). Este valor tem sido determinado usando técnicas cinéticas e cinemáticas em pesquisas que utilizaram pedestres padrão (BELL et al., 2012a).

Considerar outros modelos de transporte como automóveis particulares e transporte público poderia dar um entendimento mais completo do acesso aos diferentes serviços. Este estudo usou modelos para pedestres já que, segundo o censo de mobilidade de Bogotá, 46% das viagens que são feitas na cidade são feitas a pé, valor este acima dos demais tipos de transporte, incluindo o transporte público coletivo e, o automóvel particular, este último contemplando apenas a 10% das viagens totais da cidade. Além disso, o governo local tem desenvolvido projetos para promover ainda mais as viagens a pé, por exemplo, pela construção de redes ambientais para pedestres (BOGOTÁ, 2011). Uma vantagem de construir o modelo de acessibilidade para pedestres é a de produzir uma análise mais precisa, já que é independente do tráfego e do sentido das vias. Segundo o censo de mobilidade de Bogotá, as pessoas da capital caminham em média 15 minutos para chegar a seus destinos, devido a isto e considerando que a velocidade de caminhada de um humano padrão é de 4 Km/h, nos modelos de locação-alocação foi utilizada uma distância limite de 1 km. Os resultados obtidos são úteis para a toma de decisões nas zonas urbanas, porém apresenta uma limitação na aplicação a zonas rurais, devido às distâncias limite consideradas para estas zonas serem potencialmente maiores (MURAWSKI; CHURCH, 2009).

Embora uma adequada prestação dos serviços envolva mais do que aspectos espaciais, estes são de fundamental importância no processo de planejamento dos mesmos. Este estudo focou-se nos aspectos espaciais e teve em consideração como o acesso estava influenciado pelo estrato socioeconômico. Estudos que avaliem outros fatores não espaciais são necessários para complementar as análises e melhorar o planejamento dos serviços. Foi examinada a correlação entre o estrato socioeconômico com os dados da acessibilidade realizada do programa obtendo como resultado uma maior quantidade de pontos de serviço na população dos estratos 1, 2 e 3. Estes estratos abrigam o 86% dos Bogotanos e representam as zonas mais pobres da cidade (Anexo A).

Para a Secretaria de Saúde de Bogotá, a meta anual é a de conseguir vacinar 70% a 80% da população alvo de cães e gatos (BOGOTÁ, 2012). Quanto ao programa de esterilização, embora seja difícil estimar a sua efetividade como estratégia para reduzir o tamanho populacional, particularmente em curtos períodos de tempo (AMAKU; DIAS; FERREIRA, 2009; FERREIRA, 2010), sabe-se que a proximidade aos serviços de saúde é um determinante significativo para o uso dos mesmos (SALISBURY, 1989; FIELD; BRIGGS, 2001). As localidades com maior número de esterilizações foram Suba, Ciudad Bolívar, San Cristobal e Bosa. Estas localidades apresentaram o maior número de pontos, a maior capacidade por ponto e a maior densidade populacional de cães e gatos. As taxas de esterilização encontradas no presente estudo foram de 2,10% para os cães e 7,38% para os gatos, valores estes superiores aos encontrados na cidade previamente por Vega, Espinosa e Castillo (2007). A idade média de castração foi de 20,1 e 13,6 meses para os cães e para os gatos, respectivamente. Ferreira (2010) encontrou que a esterilização de animais domiciliados e errantes menores de sete anos era eficaz para contribuir na redução do crescimento populacional e concluiu que os programas de esterilização realizados de forma permanente têm custos decrescentes, sendo o maior esforço de esterilização realizado nos primeiros dois ou três anos, e que a avaliação do efeito das ações poderá detectar reduções importantes a partir dos quatro ou cinco anos, dependendo das taxas de esterilização aplicadas. Adicionalmente, outro estudo realizado no Brasil, encontrou que, até mesmo na presença de elevadas taxas de esterilização (por exemplo $0,80 \text{ ano}^{-1}$), uma redução do 20 %

na densidade populacional seria notória só depois de decorridos aproximadamente cinco anos de campanhas de esterilização (AMAKU; DIAS; FERREIRA, 2009; FERREIRA, 2010), sendo que a eficácia também estaria relacionada de forma importante com as taxas de abandono (AMAKU; DIAS; FERREIRA, 2009). O presente estudo utilizou valores de taxas de esterilização de 80% e de 60%, devido ao fato de, em algumas cidades, a esterilização não tem surtido os resultados desejados devido às baixas taxas realizadas (CLIFTON, 2001), mas quando aplicadas taxas de até 70% foram mostrados resultados favoráveis na redução populacional (CLIFTON, 2001). No presente estudo, a maioria dos animais castrados foram fêmeas, isto possivelmente porque, desde antes de 2011, o serviço de esterilização ser oferecido exclusivamente para as fêmeas e a população desconhecer que atualmente os machos podem ser atendidos pelo serviço da secretaria de saúde.

Modelos de localização-alocação têm tido aplicação crescente na área da saúde internacionalmente. Na América Latina, embora de uso incipiente, existe enorme potencial para a utilização destes modelos na área de saúde pública (GALVÃO; NOBRE; VASCONCELLOS, 1999). Neste estudo foram candidatados lugares conhecidos pela população, tais como colégios distritais, igrejas, centros comunais, prefeituras locais, centros de atenção distrital (CADES). Apesar desta dissertação não ter criado ou modificado um modelo de alocação-alocação, foi mostrada a possibilidade de integrar estes modelos nos sistemas de informação geográfica aplicados à proposta de uma locação adequada dos pontos de esterilização e de vacinação contra a raiva da cidade de Bogotá, Colômbia. O modelo de máxima cobertura foi o que mais se adaptou à cidade de Bogotá em termos de eficiência, já que maximizou a cobertura do programa em zonas de alta densidade populacional. O modelo de p -mediana mostrou-se mais efetivo em termos de equidade ao gerar uma distribuição mais uniforme do serviço, sendo no entanto ineficaz devido à própria distribuição da população alvo de cães e gatos na cidade. O serviço público deve considerar a relação custo-benefício do incremento do número de locais ou do incremento da capacidade dos pontos. Este estudo não considerou o serviço de vacinação contra a raiva nem de esterilização para cães e gatos oferecido pelos serviços particulares, pelo que estudos de acessibilidade incluindo estes serviços deverão ser realizados a fim de obter

uma análise mais precisa.

6 CONCLUSÕES

Este estudo desenvolveu o método E3SFCA para auxiliar no planejamento espacial de diferentes programas de saúde pública em áreas urbanas. A metodologia foi aplicada aos programas de vacinação contra a raiva e de esterilização para cães e gatos da cidade de Bogotá, Colômbia e mostrou resultados razoáveis e úteis para melhorar o serviço fornecido à comunidade. O presente trabalho resolveu o problema de superestimação da cobertura dos serviços e sugere que esta metodologia não é eficaz para avaliar o uso dos serviços. A realocação estratégica sugerida garante a acessibilidade espacial potencial a estes programas. O desenvolvimento deste trabalho traz benefícios diretos para a sociedade em geral, auxiliando no planejamento estratégico e melhorando a efetividade das ações públicas em áreas urbanas da América Latina.

7 REFERÊNCIAS

ADAY, L a; ANDERSEN, R. A framework for the study of access to medical care. **Health services research**, v. 9, n. 3, p. 208-220, 1974.

AMAKU, M.; DIAS, R. A.; FERREIRA, F. Dinâmica populacional canina: potenciais efeitos de campanhas de esterilização, **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 25, n. 4, p. 300-304, 2009.

BELL, S.; WILSON, K.; BISSONNETTE, L.; SHAH, T. Access to Primary Health Care: Does Neighborhood of Residence Matter?. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 103, n. 1, p. 85-105, 2013. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00045608.2012.685050>. Acesso em: 1 Aug. 2012a.

BELL, S.; WILSON, K.; SHAH, T. I.; GERSHER, S.; ELLIOT, T. Investigating impacts of positional error on potential health care accessibility. **Spatial and Spatio-Temporal Epidemiology**, v. 3, n. 1, p. 17-29, 2012b.

BLANCHETTE, Mark G; BRAULT, John R; POWERS, Christopher M. The influence of heel height on utilized coefficient of friction during walking. *Gait and posture*, v. 34, n. 1, p. 107-10, 2011.

BOGOTÁ D.C. Secretaria Distrital de Salud. **Resolución No. 1311 del 30 de septiembre de 2010. Por la cual se modifican las Resoluciones 5215 de 1996, 1095 de 1999 y 349 de 2005, se adoptan nuevos procesos relacionados con el Centro de Zoonosis del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones.** Bogotá D.C., 2010.

BOGOTÁ D.C. Secretaria de Movilidad de Bogotá. **Encuesta de Movilidad de Bogotá 2011.** Disponível em: <http://www.movilidadbogota.gov.co/>. Acesso em 11 Fev. 2012.

BOGOTÁ D.C. Secretaria Distrital de Salud. **Guía de Trámites y Servicios: Vacunación antirrábica para caninos y felinos y control natal de caninos y felinos.** 2012. Disponível em: <http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/frame>. Acesso em 1 Jul. 2011.

CEDIEL, N.; VILLAMIL, L.; ROMERO, J. Epidemiología de la rabia canina en Colombia. **Revista de Salud Pública**, v. 12, n. 3, p. 368-379, 2010.

CLIFTON, M. Sterilization and vaccination: 70% or flunk. **Best Friends Animal Society**, n. 435, p. 1-5, 2001.

DAI, D. Black residential segregation, disparities in spatial access to health care

facilities, and late-stage breast cancer diagnosis in metropolitan Detroit. **Health and place**, v. 16, n. 5, p. 1038-1052, 2010.

DANE. **Censo General 2005**. [S.l]: DANE, 2005. Disponível em: <http://www.dane.gov.co/index.ph> Acesso em: 1 Sep. 2011.

DASKIN, M; DEAN, L K. Location of health care facilities In: BRANDEAU, M.L.; SAINFORT, F.; PIERSKALLA, W.P. (Ed.). **Operations research and Health Care: handbook of Methods and Applications**. Evanston, IL.: Kluwer Academic Publishers, 2004. Chap. 3, p. 43-76.

DIJKSTRA, E. W. A note on two problems in connexion with graphs. **Numerische Mathematik**, v. 1, n. 1, p. 269-271, 1959.

EATON, D; HÉCTOR, M; SÁNCHEZ, U.; MORGAN, J. Determining ambulance deployment in Santo Domingo, Dominican Republic. **Journal of the Operational Research Society**, v. 37, p. 113-126, 1986.

FERREIRA, Fernando. Avaliação do impacto da esterilização e/ou sacrifício no controle de populações de cães através de um modelo matricial de crescimento populacional. 2010 - 85f. Tese (Livro Docência) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, 2010.

FIELD, K S; BRIGGS, D J. Socio-economic and locational determinants of accessibility and utilization of primary health-care. **Health and Social Care in the Community**, v. 9, n. 5, p. 294-308, 2001.

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

GARCÍA-PALOMARES, Juan; CARDOZO, Osvaldo; GUTIÉRREZ, Javier. Sistemas de informacón geográfica como herramientas en la estimación de las entradas en las estaciones de metro en Madrid. **Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC**, p. 56-69, 2008.

GUAGLIARDO, M. Spatial accessibility of primary care: concepts, methods and challenges. **International Journal of Health Geographics**, v. 3, n. 1, p. 3 - 14, 2004.

HANSEN, Walter G. How accessibility shapes land use. **Journal of the American Institute of Planners**, v. 25, p. 73-76, 1959.

IACONO, M.; KRIZEK, K.; EL-GENEIDY, A. Measuring non-motorized accessibility: issues, alternatives, and execution. **Journal of Transport Geography**, v. 18, n. 1, p. 133-140, 2010.

IDECA. Infraestructura de datos espaciales para el Distrito Capital. 2012. Disponível em: <http://www.idecabogota.gov.co>. Acesso em: 1 Dez. 2011.

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

KHAN, A. An integrated approach to measuring potential spatial access to health care services. **Socio-economic Planning Sciences**, v. 26, n. 4, p. 275-287, 1992.

LANGFORD, M.; HIGGS, G. Measuring Potential Access to Primary Healthcare Services: The Influence of Alternative Spatial Representations of Population. **The Professional Geographer**, v. 58, n. 3, p. 294-306, 2006.

LUO, W.; QI, Y. An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians. **Health and Place**, v. 15, n. 4, p. 1100-1107, 2009.

LUO, W.; WANG, F. Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: synthesis and a case study in the Chicago region. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 30, n. 6, p. 865-884, 2003.

LUO, W.; WHIPPO, T. Variable catchment sizes for the two-step floating catchment area (2SFCA) method. **Health and Place**, v. 18, n. 4, p. 789-795, 2012.

MARPET, M. On threshold values that separate pedestrian walkways that are slip resistant from those that are not. **Journal of Forensic Sciences**, v. 41, p 747-755, 1995.

MURAWSKI, L.; CHURCH, R. Improving accessibility to rural health services: The maximal covering network improvement problem. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 43, n. 2, p. 102-110, 2009.

PÁEZ, A.; VELASCO-VILLA, A.; REY, G.; RUPPRECHT, C. Molecular epidemiology of rabies in Colombia 1994-2005 based on partial nucleoprotein gene sequences. **Virus research**, v. 130, n. 1-2, p. 172-181, 2007.

POLO, G.; MERA ACOSTA, C; DIAS, R. A. Spatial Accessibility to Vaccination Sites in a Campaign Against Rabies in São Paulo city , Brazil. **Preventive Veterinary Medicine**, 2013. In press. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.03.010>. Acesso em: 17 Abr. 2013

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Development Core Team, 2012.

RADKE, J.; MU, L. Spatial decompositions, modeling and mapping service regions to

predict access to social programs. **Geographic Information Science**, v. 6, p. 105-112, 2000.

RAHMAN, S.; SMITH, David 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.

REGGIANI, A.; BUCCI, P.; RUSSO, G. Accessibility and impedance forms: Empirical application to the german commuting network. **International Regional Science Review**, v. 34, n. 2, p. 230-252, 2011.

SALISBURY, C. How do people choose their doctor. **BMJ**, v. 299, p. 608-610, 1989.

SHAHID, R.; BERTAZZON, S.; KNUDTSON, M.; GHALI, W. Comparison of distance measures in spatial analytical modeling for health service planning. **BMC Health Services Research**, v. 9, p. 200, 2009.

SHENGELIA, B.; TANDON, A.; ADAMS, O.; MURRAY, C. Access, utilization, quality, and effective coverage: an integrated conceptual framework and measurement strategy. **Social Science and Medicine**, v. 61, n. 1, p. 97-109, 2005.

VEGA, R.; ESPINOSA, G.; CASTILLO, L. Análisis de la Población Canina en el Distrito Capital. **Investigaciones en Seguridad Social y Salud**, v. 9, p. 203-228, 2007.

WALTEROS, D.; CASTRO, Á. **Rabia humana y rabia animal situación actual en Colombia hasta el periodo epidemiológico décimo de 2012**. Bogotá DC: Instituto Nacional de Salud, 2012.

WAN, N.; ZOU, B.; STERNBERG, T. A three step floating catchment area method for analyzing spatial access to health services. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 26, n. 6, p. 1073-1089, 2012.

WANG, F.; LUO, W. Assessing spatial and nonspatial factors for healthcare access: towards an integrated approach to defining health professional shortage areas. **Health and Place**, v. 11, n. 2, p. 131-46, 2005.

WANG, F.; MCLAFFERTY, S.; ESCAMILLA, V.; LUO, L. Late-stage breast cancer diagnosis and health care access in Illinois. **Professional Geographer**, v. 60, n. 1, p. 54-69, 2008.

WANG, L. Immigration, ethnicity and accessibility to culturally diverse family physicians. **Health and Place**, v. 13, n. 3, p. 656-671, 2007.

ZWIEFELHOFER, D. Batch Geocoding. Disponível em:
<http://www.findlatitudeandlongitude.com/>. Acesso em: 2 Dez. 2011

ANEXO A

Fonte: (SECRETARIA DISTRITAL DE PLANEACIÓN, 2009)