

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO URBANO**  
**E REGIONAL**

**MODELO ESTIMATIVO DE MOVIMENTO DE PEDESTRES**  
**BASEADO EM SINTAXE ESPACIAL, MEDIDAS DE**  
**DESEMPENHO E REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS**

**Autor: Fábio Lúcio Lopes Zampieri**

*Arquiteto e Urbanista*

**Orientador: Prof. Dr. Décio Rigatti**

*Arquiteto e Urbanista*

**PORTO ALEGRE**

**2006**

**FÁBIO LÚCIO LOPES ZAMPIERI**

**MODELO ESTIMATIVO DE MOVIMENTO DE PEDESTRES  
BASEADO EM SINTAXE ESPACIAL, MEDIDAS DE  
DESEMPENHO E REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS**

**Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-graduação em  
Planejamento Urbano e Regional  
da Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, como requisito  
parcial à obtenção de título de  
Mestre em Planejamento Urbano e  
Regional.**

**Orientador: Prof. Dr. Décio Rigatti**

**PORTO ALEGRE**

**2006**

*Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais que me deram todo o apoio possível e sempre confiaram em mim.*

*Caroline “Seus pés me abrem o caminho.*

*Eu sigo e nunca me sinto só...”*

*Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, esta Instituição de Ensino Superior que me acolheu durante mais de dois anos.*

*Aos meus pais, que me ajudaram muito em toda a minha vida. Às minhas irmãs, que sempre estiveram ao meu lado. E ao amor da minha vida, Caroline, por ser exatamente como você é...*

*Ao Dr. Décio Rigatti, que agora posso chamar de amigo, um agradecimento especial: por sua paciência, interesse e disponibilidade.*

*Às pessoas que me ajudaram com a difícil tarefa de avaliar os passeios: Professor Hugo Blois, Professora Vanessa Dorneles e Arquiteta Janáina Fernandes. À professora Maria Izabél Funck, que pacientemente corrigiu os erros de português de toda a dissertação (menos os agradecimentos!). Agradeço a Janáina Fernandes pelo Abstract contido neste trabalho. Aos colegas do Propur, que me ajudaram muito nesta fase de minha vida, em especial: Rochele Ribeiro, Luciana Marson, Rodrigo Fattori, Frederica Gomes, Daiane Coelho, Jeniffer Cuty, Alexandre Giorgi, Núbia de Oliveira, Lívia Capparelli. Às gurias da secretaria, Rosane Ballejos e Mariluz Grando por todas as vezes que, pacientemente, me ajudaram.*

*Ao amigo Charlie Rengifo Bocanegra, por me ensinar tudo o que sei sobre redes neurais artificiais, este trabalho não seria possível sem tua ajuda. Agradecimento especial ao LASTRAN que me permitiu utilizar o software BRAINMAKER, indispensável para esta pesquisa.*

*À prefeitura de Santa Maria-RS, por abrir as suas portas e permitir que todos os dados pudessem ser coletados para a realização desse trabalho, em especial a Vera Duarte e seus colegas do cadastro imobiliário do município.*

*E, todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização dessa dissertação e que por total falta de “neurônios” acabei esquecendo.*

*Meu Muito Obrigado!*

*A História se revela à céu aberto,  
da mesma forma que nas bibliotecas, e as ruas podem ser  
lidas como livros, ao menos pelos pedestres.*

*Peter Burke - A alma encantadora das ruas.*

## RESUMO

O movimento de pedestres está associado ao espaço em que ele acontece, de maneira local, onde cada calçada oferece vantagens físicas e de maneira global ao determinar rotas através dos caminhos da cidade. Entender como os pedestres escolhem as calçadas por onde se locomovem é essencial para determinar as características do ambiente necessárias aos espaços. Uma maneira de entender essas relações é através da criação de modelos urbanos, um modo de associar diretamente os atributos aos fenômenos. Buscou-se analisar metodologias utilizadas em modelos de pedestres, bem como novas tecnologias incorporadas a eles, para avaliar a movimentação peatonal urbana em áreas centrais de tecido tradicional. Dentre as metodologias observadas, aquelas que mais se adequaram para entender os fatores contidos no espaço urbano foram a sintaxe espacial e as medidas de desempenho dos passeios. A sintaxe se destaca por relacionar o efeito da malha urbana como indutora do movimento de pedestres, e as medidas de desempenho por criarem maneiras de avaliar a qualidade do passeio. Esta pesquisa procura compatibilizar esses dois métodos de abordar o movimento para descrever e compreender as relações entre o espaço e o fluxo de pedestres na área central da cidade de Santa Maria-RS. As variáveis do espaço urbano foram processadas com as redes neurais artificiais, uma tecnologia inovadora com muito potencial na área de modelagem urbana, por sua aptidão de aprendizado a partir de exemplos - fenômenos que não possuem regras explícitas - e processamento em paralelo dos dados - todas as variáveis se influenciam ao mesmo tempo para resultar no fenômeno estudado. Os resultados obtidos mostraram-se pertinentes às bases teóricas e contribuem para a explicação do movimento natural em cidades.

Palavras-chave: movimento de pedestres, redes neurais artificiais, modelos urbanos, medidas de desempenho, sintaxe espacial.

**ABSTRACT**

*The pedestrians' movement is associated to the space where it happens, on a local way, where each sidewalk offers physical advantages and in a global way when determining routes through the city roads. To understand how the pedestrians choose the sidewalks where they will move around is essential to determine the ambient characteristics that are necessary on the spaces. A way of understanding these relations is by creating urban models, a way of associating directly the attributes to the phenomena. It was tried to analyze methodologies used in pedestrians' models, as well as new technologies incorporated to them, to evaluate the urban pedestrian movement at central areas of the traditional cities. Among the observed methodologies, those which were more appropriated to understand the factors contained in the urban space were the spatial syntax and the measures of sidewalks performance. The syntax stands out by relating the effect of the urban grid as the factor that induces the pedestrians' movement and the performance measures because they create forms of evaluating the sidewalk's quality. This research attempts to make compatible those two methods of approaching the movement to describe and to understand the relations between the space and the pedestrians' flow in the central area of Santa Maria-RS. The urban space variables were processed with the artificial neural networks, an innovative technology with a lot of potential in the urban modeling area, on account of its learning aptitude starting from examples - phenomena that don't have explicit rules - and the parallel processing of the data - all the variables influence each other at the same time to result in the studied phenomenon. The obtained results were shown pertinent to the theoretical bases and they contribute to the explanation of the natural movement in cities. The results were shown pertinent to the theoretical bases and they contribute to explaining the natural movement in the cities.*

*Key words: pedestrians' movement, artificial neural networks, urban models, performance measures, spatial syntax.*

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA .....	III
RESUMO .....	VI
<i>ABSTRACT</i> .....	VII
SUMÁRIO .....	VIII
LISTA DE TABELAS .....	XIV
LISTA DE FIGURAS .....	XVI
LISTA DE GRÁFICOS.....	XIX
TERMINOLOGIAS UTILIZADAS NA DISSERTAÇÃO.....	XXIII
1. INTRODUÇÃO.....	24
1.1. APRESENTAÇÃO .....	24
1.2. OBJETIVOS .....	25
1.2.1. Objetivo Geral:.....	25
1.2.2. Objetivos específicos:.....	25
1.3. RELEVÂNCIA .....	26
1.4. O PROBLEMA DE PESQUISA.....	27
1.4.1. Origem do problema de investigação .....	27
1.4.2. Delimitação do problema .....	27
1.5. A HIPÓTESE DO TRABALHO .....	28
1.6. DELIMITAÇÃO DA UNIDADE ESPACIAL DE ANÁLISE.....	28
1.7. ESTRUTURA DA PESQUISA .....	28
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	30
2.1. FLUXO PEATONAL .....	30
2.2. A SOCIEDADE E O DESLOCAMENTO DE PEDESTRES .....	34
2.3. MODELOS URBANOS E A CIRCULAÇÃO PEATONAL .....	37
2.3.1. Histórico da modelagem urbana.....	41
2.3.2. Técnicas incorporadas à modelagem urbana.....	44
2.4. MODELOS DE PEDESTRES.....	47

2.4.1.	Tipos de representação .....	51
2.4.1.1.	Modelos de espera, de transição, estocásticos e de escolha de rotas .....	51
2.4.1.2.	Modelos formulados através da analogia à cinemática dos gases e fluídos.....	53
2.4.1.3.	Modelo de nível de serviço .....	54
2.4.1.4.	Modelo configuracional .....	56
2.4.1.5.	Modelo utilizando SIG e Autômato celular.....	58
2.4.1.6.	Modelo de multiagentes .....	60
2.4.2.	Métodos escolhidos para análise do fluxo peatonal .....	60
2.5.	SINTAXE ESPACIAL .....	62
2.5.1.	Lógica social do espaço.....	62
2.5.2.	Movimento Natural .....	64
2.5.3.	Medidas Sintáticas.....	66
2.5.3.1.	Integração global.....	68
2.5.3.2.	Integração local .....	69
2.5.3.3.	Conectividade.....	70
2.5.3.4.	Controle.....	70
2.5.3.5.	Profundidade .....	70
2.5.3.6.	Constituições .....	71
2.5.3.7.	Atratores.....	71
2.6.	NÍVEIS DE SERVIÇO E MEDIDAS DE DESEMPENHO.....	72
2.6.1.	Capacidade da calçada.....	73
2.6.2.	Qualidade do ambiente .....	75
2.6.3.	Percepção de conforto e segurança.....	78
2.6.4.	Aplicação do conceito de nível de serviço .....	78
2.6.4.1.	Comprimento e Largura da via.....	79
2.6.4.2.	Atratividade.....	79
2.6.4.3.	Conforto .....	80
2.6.4.4.	Manutenção .....	82
2.6.4.5.	Segurança .....	83

2.6.4.6.	Segurança Pública .....	84
2.7.	A ABORDAGEM ESCOLHIDA .....	85
3.	REDES NEURAI ARTIFICIAIS .....	90
3.1.	REDES NEURAI ARTIFICIAIS E O PROCESSAMENTO DOS ATRIBUTOS DO ESPAÇO .....	90
3.2.	ANALOGIA BIOLÓGICA.....	95
3.3.	RÁPIDO HISTÓRICO SOBRE AS REDES NEURAI ARTIFICIAIS.....	97
3.4.	ESTRUTURA DE UMA RNA .....	99
3.4.1.	Modelo de um neurônio .....	99
3.4.2.	Função de ativação .....	101
3.4.3.	Principais arquiteturas de redes neurais artificiais.....	104
3.4.4.	Tipos de aprendizado.....	106
3.5.	PERCEPTRONS DE MÚLTIPLAS CAMADAS (MULTILAYER PERCEPTRONS) ....	107
3.5.1.	Algoritmo de retropropagação de erro.....	108
3.5.2.	Funcionalidade .....	109
3.5.3.	Otimização da topologia da rede .....	111
3.5.4.	Treinamento das redes multilayer perceptron.....	112
3.6.	AVALIANDO AS REDES NEURAI ARTIFICIAIS.....	112
3.7.	APLICAÇÃO DAS REDES NEURAI PARA MODELAGEM URBANA.....	114
4.	METODOLOGIA .....	116
4.1.	DELIMITAÇÃO DO OBJETO EMPÍRICO DE ESTUDO .....	116
4.2.	PROJETO PILOTO .....	119
4.3.	TÉCNICA DE COLETA DOS DADOS.....	121
4.3.1.	Fluxo de pedestres .....	122
4.3.2.	Análise sintática do espaço.....	126
4.3.2.1.	Espaço convexo.....	126
4.3.2.2.	Mapa axial.....	129
4.3.2.3.	Atratores.....	133
4.3.3.	Medidas de desempenho .....	142

4.3.3.1.	Adequação dos atributos .....	144
4.3.3.2.	Ponderação das medidas de desempenho .....	154
4.3.4.	Síntese das variáveis utilizadas .....	167
4.4.	TÉCNICA DE TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.....	169
5.	DISCUSSÃO E RESULTADOS.....	173
5.1.	CONCEPÇÃO DOS MODELOS .....	173
5.2.	MODELO DE FLUXO DE PEDESTRES.....	178
5.2.1.	Determinação da equação das redes neurais artificiais.....	182
5.2.2.	Importância relativa das variáveis .....	184
5.2.3.	Teste de sensibilidade dos modelos.....	192
5.2.3.1.	Integração global .....	196
5.2.3.2.	Integração local .....	198
5.2.3.3.	Conectividade.....	200
5.2.3.4.	Controle.....	202
5.2.3.5.	Profundidade .....	204
5.2.3.6.	Constituições .....	206
5.2.3.7.	Atratores residenciais .....	208
5.2.3.8.	Atratores comerciais.....	210
5.2.3.9.	Atratores de serviço.....	212
5.2.3.10.	Outros atratores .....	213
5.2.3.11.	Largura do passeio .....	215
5.2.3.12.	Comprimento do passeio .....	217
5.2.3.13.	Atratividade.....	219
5.2.3.14.	Conforto .....	221
5.2.3.15.	Manutenção .....	223
5.2.3.16.	Segurança .....	225
5.2.3.17.	Segurança pública .....	226
5.3.	CARACTERÍSTICAS DO ESPAÇO URBANO E SUA RELAÇÃO COM O FLUXO DE PEDESTRES .....	228

5.3.1.	Controle e conectividade .....	229
5.3.2.	Inteligibilidade .....	230
5.3.3.	Sinergia .....	231
5.3.4.	Como a ordem local vence as indeterminações do espaço .....	232
5.4.	REPLICAÇÃO DO MODELO.....	233
5.4.1.	Conectividade como potencializadora dos padrões da malha .....	235
5.4.2.	Constituições, atratores e medidas sintáticas.....	237
5.4.3.	Medidas de desempenho e o fluxo .....	240
6.	CONCLUSÃO.....	242
6.1.	CONCLUSÕES .....	242
6.2.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	248
6.3.	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS .....	250
7.	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....	252
ANEXO A – PROJETO PILOTO AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS SINTÁTICAS .....		260
UTILIZAR UMA OU DUAS SAÍDAS POR MODELO?.....		260
Análise dos resultados obtidos .....		261
UTILIZAR CONSTITUIÇÕES EM METROS OU EM UNIDADES?.....		261
Análise dos resultados obtidos .....		262
UTILIZAR ATRATORES EM METROS OU EM UNIDADES? .....		262
Análise dos resultados obtidos .....		264
DISCRIMINAR OS ATRATORES UTILIZADOS PARA MODELO DE MOVIMENTO? .....		264
Análise dos resultados obtidos .....		265
DISCRIMINAR OS ATRATORES UTILIZADOS PARA MODELO DE PEDESTRES PARADOS? .....		266
Análise dos resultados obtidos .....		267
ANEXO B – PROJETO PILOTO AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO.....		268
UTILIZAR UMA OU DUAS SAÍDAS POR MODELO?.....		268
Análise dos resultados obtidos .....		269

UTILIZAR A NOTA TOTAL OU AS MEDIDAS DE DESEMPENHO SEGREGADAS?.....	269
Análise dos resultados obtidos .....	271
UTILIZAR MEDIDAS PONDERADAS OU NÃO?.....	271
Análise dos resultados obtidos .....	272
ANEXO C – QUADRADO DA correlação ( $r^2$ ) entre as variáveis UTILIZADAS NO TRABALHO.....	273
CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DO MODELO DE PEDESTRES EM MOVIMENTO .....	273
CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DO MODELO DE PEDESTRES PARADOS .....	274

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alguns exemplos de sistemas de informação urbana que utilizam RNAs. Fonte: adaptado de Rubenstein-Montano (2000).....	47
Tabela 2 - Períodos de medição de pedestres. Fonte: original do autor.....	123
Tabela 3 - Ficha de contagem do fluxo de pedestres. Fonte: original do autor. ....	124
Tabela 4 - Resultado do teste piloto para o fluxo de pedestres. Fonte: original do autor. ....	125
Tabela 5 - Cenários de teste da variável ‘constituições’. Fonte: original do autor. ....	128
Tabela 6 - Cenários de teste da variável ‘Atratores’. Fonte: original do autor. ....	136
Tabela 7 - Cenários de teste da variável ‘Atratores’. Fonte: original do autor. ....	137
Tabela 8 - Exemplo de uma ficha tradicional de avaliação da medida de desempenho atratividade. Fonte: Adaptado de Khisty (1994), Ferreira e Sanches (2001) e Silva (2004). ....	145
Tabela 9 - Exemplo de uma ficha de medida de desempenho segregada atratividade. Fonte: original do autor.....	146
Tabela 10 - Correlação entre os resultados obtidos através das fichas de avaliação das medidas de desempenho segregadas e não-segregadas. Fonte: original do autor.....	147
Tabela 11 - Ficha da medida de desempenho Atratividade. Fonte: original do autor.....	150
Tabela 12 - Ficha da medida de desempenho Conforto. Fonte: original do autor. ....	151
Tabela 13 - Ficha da medida de desempenho Manutenção. Fonte: original do autor.....	152
Tabela 14 - Ficha da medida de desempenho Segurança. Fonte: original do autor.....	153
Tabela 15 - Ficha da medida de desempenho Segurança Pública. Fonte: original do autor. ....	154
Tabela 16 - Formulário do tipo par-a-par para identificar a importância das MDs para os pedestres. Fonte: original do autor. ....	156
Tabela 17 - Cálculo da ponderação através do método da soma constante. Adaptado de Khisty (2004). ....	158
Tabela 18 - Cenários de teste medidas de desempenho. Fonte: original do autor. ....	160
Tabela 19 - Cenários de teste entre medidas de desempenho ponderadas e não-ponderadas. Fonte: original do autor.....	162
Tabela 20 - Resumo das variáveis do modelo de pedestres em movimento. Fonte: original do autor. ....	168
Tabela 21 - Resumo das variáveis do modelo de pedestres parados. Fonte: original do autor.....	169

Tabela 22 - Teste dos parâmetros para encontrar o melhor modelo para simular os pedestres em movimento. Fonte: original do autor. ....	178
Tabela 23 - Teste dos parâmetros para encontrar o melhor modelo para simular os pedestres parados. Fonte: original do autor. ....	178
Tabela 24 - Variação da sensibilidade do fluxo de pedestres em movimento de cada variável para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	193
Tabela 25 - Variação da sensibilidade do fluxo de pedestres parados de cada variável para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	193
Tabela 26 - Modelo replicado em planilha eletrônica para teste das variáveis. Fonte: original do autor.	234
Tabela 27 - Modelo estimando a co-dependência das medidas sintáticas para o fluxo de pedestres em movimento. Fonte: original do autor. ....	235
Tabela 28 - Variação entre constituição e atratores. Fonte: original do autor. ....	238
Tabela 29 - Variação entre constituições e medidas sintáticas. Fonte: original do autor. ....	239
Tabela 30 - Modelo avaliando as relações entre o fluxo e as medidas sintáticas. Fonte: original do autor. ....	241
Tabela 31 - Anexo C - Quadrado da correlação ( $R^2$ ) entre as variáveis utilizadas no modelo de pedestres em movimento. Fonte: original do autor. ....	273
Tabela 32 - Anexo C - Quadrado da correlação ( $R^2$ ) entre as variáveis utilizadas no modelo de pedestres parados. Fonte: original do autor. ....	274
Tabela 33 - Anexo C - Legenda da intensidade das correlações entre as variáveis. Fonte: original do autor. ....	274

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura dos sistemas. Fonte: adaptado de Echenique (1976). .....	38
Figura 2 - Representação dos espaços abertos. a) Existe uma restrição de movimentação da malha, induzindo que as viagens passem obrigatoriamente pelo segmento 3. b) Neste exemplo existem alternativas que podem ser utilizadas pelo pedestre. Fonte: adaptado de Hillier <i>et al.</i> , (1993). .....	64
Figura 3 - Geração do movimento natural. ‘C’ é a configuração, ‘M’ o movimento e ‘A’ os atratores. Fonte: adaptado de Hillier <i>et al.</i> , (1994). .....	65
Figura 4 - Efeito de um obstáculo no fluxo de pedestres. Fonte: adaptado de Kwon <i>et al.</i> , (1998). .....	82
Figura 5 - Diagrama do modelo utilizado na pesquisa. Fonte: original do autor. ....	89
Figura 6 - Topologia de um neurônio biológico. Fonte: adaptado de <a href="http://www.isurp.com.br">www.isurp.com.br</a> . .....	96
Figura 7 - Modelo de um neurônio artificial. Fonte: adaptado de Haykin (2001). .....	100
Figura 8 - Efeito produzido pelo bias. Fonte: original do autor. ....	101
Figura 9 - Função limiar. Fonte: original do autor. ....	102
Figura 10 - Função limiar por partes. Fonte: original do autor. ....	103
Figura 11 - Função sigmóide logística. Fonte: original do autor. ....	104
Figura 12 - Topologia de uma rede <i>Perceptron</i> sem camada intermediária. Fonte: original do autor. ....	105
Figura 13 - Topologia de uma rede Multilayer Perceptron com uma camada intermediária. Fonte: original do autor. ....	107
Figura 14 - Fluxos de sinal básicos da MLP. Fonte: original do autor. ....	109
Figura 15 - Localização da cidade de Santa Maria. Fonte: original do autor. ....	117
Figura 16 - Mapa da cidade de Santa Maria, com a área da pesquisa hachurada em vermelho. Fonte: adaptado de Salomoni (2006). .....	118
Figura 17 - Mapa da área de estudo. Fonte: original do autor. ....	119
Figura 18 - Mapa da área do projeto piloto, com as linhas de integração global e os níveis de serviço dos passeios selecionados. Fonte: original do autor. ....	121
Figura 19 - Mapa da área do projeto, com as quadras marcadas por letras e as calçadas por números. Fonte: original do autor. ....	122

Figura 20 - Rota dos pesquisadores para contar os pedestres. Cada um deles representado com uma cor e saindo do mesmo ponto. Fonte: original do autor. ....	123
Figura 21 - Mapa temático do fluxo de pedestres em movimento. Fonte: original do autor. ....	125
Figura 22 - Mapa temático do fluxo de pedestres parados. Fonte: original do autor. ....	126
Figura 23 - Mapa temático da variável 'constituições' em metros. Fonte: original do autor. ....	128
Figura 24 - Mapa temático da variável 'constituições' em unidades. Fonte: original do autor. ....	129
Figura 25 - Esquema das medidas axiais decompostas da área de estudo. Fonte: original do autor. ....	130
Figura 26 - Mapa temático da medida sintática 'integração global'. Fonte: original do autor. ....	131
Figura 27 - Mapa temático da medida sintática 'integração local'. Fonte: original do autor. ....	131
Figura 28 - Mapa temático da medida sintática 'conectividade'. Fonte: original do autor. ....	132
Figura 29 - Mapa temático da medida sintática 'controle'. Fonte: original do autor. ....	132
Figura 30 - Mapa temático da medida sintática 'profundidade'. Fonte: original do autor. ....	133
Figura 31 - Mapa <i>noli</i> da área de estudo com os lotes e edificações da área. Fonte: original do autor. ...	135
Figura 32 - Mapa temático dos 'atratores residenciais' em metros. Fonte: original do autor. ....	138
Figura 33 - Mapa temático dos 'atratores comerciais' em metros. Fonte: original do autor. ....	138
Figura 34 - Mapa temático dos 'atratores serviço' em metros. Fonte: original do autor. ....	139
Figura 35 - Mapa temático dos 'outros atratores' em metros. Fonte: original do autor. ....	139
Figura 36 - Mapa temático dos 'atratores serviço' em unidades. Fonte: original do autor. ....	140
Figura 37 - Mapa temático dos 'outros atratores' em unidades. Fonte: original do autor. ....	140
Figura 38 - Mapa temático dos 'atratores serviço' em unidades. Fonte: original do autor. ....	141
Figura 39 - Mapa temático dos 'outros atratores' em unidades. Fonte: original do autor. ....	141
Figura 40 - Mapa temático da variável 'largura'. Fonte: original do autor. ....	143
Figura 41 - Mapa temático da variável 'comprimento'. Fonte: original do autor. ....	143
Figura 42 - Mapa com o nível de serviço, classificando os passeios de 'A' (o melhor conceito) a 'F' (o pior) de acordo com as notas das MDs ponderadas pelo questionário dos pedestres. Fonte: original do autor. ....	159
Figura 43 - Mapa temático da MD 'atratividade'. Fonte: original do autor. ....	164
Figura 44 - Mapa temático da MD 'conforto'. Fonte: original do autor. ....	164
Figura 45 - Mapa temático da MD 'manutenção'. Fonte: original do autor. ....	165

Figura 46 - Mapa temático da MD 'segurança'. Fonte: original do autor.....	165
Figura 47 - Mapa temático da MD 'segurança pública'. Fonte: original do autor.....	166
Figura 48 - Mapa temático da 'nota das medidas de desempenho'. Fonte: original do autor.....	166

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação da distribuição dos dados de saída de pedestres em movimento (a) e parados (b) em ordem crescente de valor. Fonte: original do autor. ....	176
Gráfico 2 - Coeficiente de correlação entre os dados de treinamento (a) e teste (b) do modelo de pedestres em movimento. Fonte: original do autor. ....	181
Gráfico 3 - Coeficiente de correlação entre os dados de treinamento (a) e teste (b) do modelo de pedestres parados. Fonte: original do autor. ....	181
Gráfico 4 - Importância das variáveis no fluxo de pedestres em movimento segundo o método de Garson (1991). Fonte: original do autor. ....	185
Gráfico 5 - Importância das variáveis no fluxo de pedestres parados segundo o método de Garson (1991). Fonte: original do autor. ....	186
Gráfico 6 - Variação da sensibilidade do número de pedestres em movimento (a) e parados (b) conforme cada variável do modelo para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	194
Gráfico 7 - Relação entre a sensibilidade das variáveis no fluxo de pedestres em movimento para os valores mínimos (a) e máximos (b). Fonte: original do autor. ....	195
Gráfico 8 - Relação entre a sensibilidade das variáveis no fluxo de pedestres parados para os valores mínimos (a) e máximos (b). Fonte: original do autor. ....	196
Gráfico 9 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da integração global para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	197
Gráfico 10 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da integração global para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	198
Gráfico 11 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da integração local para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	199
Gráfico 12 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da integração local para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	200

Gráfico 13 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da conectividade para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	201
Gráfico 14 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da conectividade para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	202
Gráfico 15 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação do controle para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	203
Gráfico 16 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação do controle para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	204
Gráfico 17 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da profundidade para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	205
Gráfico 18 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da profundidade para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	206
Gráfico 19 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação das constituições para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	207
Gráfico 20 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação das constituições para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	208
Gráfico 21 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da área dos atratores residenciais para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	209
Gráfico 22 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da área dos atratores residenciais para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	210
Gráfico 23 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da área dos atratores comerciais para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	211
Gráfico 24 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da área dos atratores comerciais para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	211

Gráfico 25 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da área dos atratores de serviços para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.....	212
Gráfico 26 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da área dos atratores de serviços para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.....	213
Gráfico 27 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da área dos outros tipos atratores para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.....	214
Gráfico 28 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da área dos outros tipos atratores para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.....	215
Gráfico 29 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da largura para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	216
Gráfico 30 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da largura para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	217
Gráfico 31 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação do comprimento para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	218
Gráfico 32 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação do comprimento para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	219
Gráfico 33 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da nota da atratividade para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.....	220
Gráfico 34 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da nota da atratividade para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	220
Gráfico 35 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da nota de conforto para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor..	222
Gráfico 36 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da nota de conforto para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	223

Gráfico 37 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da nota de manutenção para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.....	224
Gráfico 38 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da nota de manutenção para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	224
Gráfico 39 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da nota de segurança para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.....	225
Gráfico 40 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da nota de segurança para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor. ....	226
Gráfico 41 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da nota de segurança pública para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.....	227
Gráfico 42 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da nota de segurança pública para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.....	228
Gráfico 43 - Relação entre o controle e a conectividade na área. Fonte: original do autor. ....	229
Gráfico 44 - Inteligibilidade do sistema urbano de Santa Maria-RS. Fonte: original do autor.....	230
Gráfico 45 - Sinergia da cidade de Santa Maria, RS. Fonte: original do autor.....	231
Gráfico 46 - Correlação entre o fluxo de pedestres em passeios vizinhos, bilaterais a uma linha axial. Fonte: original do autor. ....	233

**TERMINOLOGIAS UTILIZADAS NA DISSERTAÇÃO**

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas.

AHP – *Analytical Hierarchy Process* ou Método de análise hierárquica.

ANTP – Associação Nacional de Transportes.

*Apud* – Citado por.

Av. – Avenida.

BR – Brasil.

EQM – Erro quadrático médio.

ERAM – Erro relativo absoluto médio.

EUA – Estados Unidos da América.

HCM – *Highway capacity manual*.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

MD – Medida de desempenho.

MDs – Medidas de desempenho.

MLP – *Redes Multilayer Perceptrons* ou Redes de perceptron de múltiplas camadas.

Mov – Movimento.

NS – Nível de serviço.

Par – Parado.

R<sup>2</sup> – Coeficiente de determinação.

RNA – Redes neurais artificiais.

RS – Rio Grande do Sul.

SIG – Sistema de informações geográficas.

WWW – *World Wide Web*.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. APRESENTAÇÃO

Hoje em dia, a análise do fluxo de pedestres nos centros das cidades é estudada com os mais diferentes propósitos. Entender as causas geradoras do movimento de pedestres é muito importante para o planejamento urbano de nossas cidades a fim de inferir se as medidas tomadas usualmente, a concepção e manutenção dos espaços estão de fato contribuindo para o fortalecimento da dinâmica social.

Neste trabalho, buscou-se entender o comportamento do pedestre ao se locomover pela cidade para, deste modo, compreender como as implicações sociais da comunidade que constrói a cidade também potencializa os fluxos de pedestres e qualifica os passeios. Os pedestres se deslocam pela cidade por diversas razões, escolhendo as rotas que mais o agradam. Entender esta lógica implícita necessita de uma maneira de relacionar os atributos contidos no meio para compará-los com o fluxo de pedestres. A criação de modelos ajuda a entender este tipo de comportamento, pois permite visualizar mais facilmente como as alterações destes atributos resultam na variação do fenômeno a ser estudado.

Atualmente, já existem modelos capazes de explicar o comportamento de pedestres, ou parte dele, utilizando teorias bem fundamentadas, a partir de métodos diferenciados. Das várias correntes que propõem explicações para o movimento peatonal, duas delas serão abordadas neste trabalho: a sintaxe espacial e o nível de serviço dos passeios. Essas correntes têm avaliações diferentes quanto ao fluxo de pedestres e de certa forma se complementam quanto à sua área de abrangência, como será explicado no decorrer deste trabalho.

Se os atributos pertencentes a cada uma dessas teorias forem avaliados

por um sistema de processamento não linear, isto é, que consiga processar todas as informações ao mesmo tempo, eles serão capazes de criarem vínculos entre si para descrever melhor os padrões de movimento. Neste contexto, o uso de uma forma de processamentos dos dados em paralelo é indispensável, como é o caso das redes neurais artificiais, que podem avaliar como as variáveis explicam o movimento e a importância de cada uma para sua caracterização.

Este estudo se propõe a avaliar, através da criação de um modelo baseado em redes neurais artificiais, a relevância das variáveis morfológicas do espaço urbano, bem como das medidas de desempenho dos passeios públicos na quantificação do fluxo de pedestres da área de estudo.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral:

Criar um modelo urbano para analisar as relações entre o fluxo de pedestres e as propriedades do espaço urbano.

### 1.2.2. Objetivos específicos:

- Determinar as relações entre os atributos do espaço urbano e sua influência no fluxo de pedestres nas áreas centrais das cidades de tecidos tradicionais, entre eles, os níveis de serviço dos passeios e as características configuracionais urbanas.
- Analisar a circulação de pedestres da área central de Santa Maria, no Rio Grande do Sul, bem como suas características.
- Descobrir, em ordem de importância quais variáveis pesquisadas mais influenciam no modelo de pedestres parados e em movimento em uma cidade de tecido tradicional.
- Avaliar se a importância da variável para o modelo corresponde à variação

do fluxo criado por ela e desse modo descobrir as associações intrínsecas das variáveis, ou seja, teste de sensibilidade do modelo.

- Através dos valores associados a cada variável encontrada, implementar um modelo de fluxo de pedestres em comparação aos padrões encontrados para a área.

### 1.3. RELEVÂNCIA

Andar, ou melhor, se deslocar a pé pela cidade é o modo mais básico de transporte urbano e, também, o mais ecológico e socialmente correto que existe. No entanto, dados referentes à mobilidade urbana nos grandes centros urbanos mostram que andar é compulsório para uma boa parte da população, devido à baixa renda e falta de estratégias para diminuir o custo do transporte público.

Nas ruas, o pedestre está muito vulnerável a riscos por competir com outros meios de transporte que circulam pelos mesmos lugares. Além desse fator, na maioria das vezes, as calçadas não são adequadas aos pedestres por terem uma capacidade de fluxo e condições físicas impróprias ao seu deslocamento, como por exemplo: pisos escorregadios, desníveis no passeio, calçada com largura inferior à mínima recomendada e falta de sinaleiras e faixas elevadas para pedestres.

Sempre houve a necessidade de entender os fluxos de pedestres pelos estudiosos do fenômeno urbano. Esses esforços foram realizados em diferentes áreas do conhecimento para tentar determinar, entre outras coisas, as características físicas do passeio, isto é, como a sua qualidade e dimensões podem influir no fluxo de pedestres. Além disso, foi avaliado como os aspectos morfológicos da malha urbana podem alterar o fluxo de pedestres.

Este trabalho tem sua importância ao tentar correlacionar áreas do conhecimento que tratam diferentemente do mesmo assunto, a circulação de pedestres nas áreas centrais dos tecidos urbanos tradicionais. Através da

observação de certas realidades, foram extraídos atributos e correlacionados através das redes neurais artificiais para entender a lógica desse fenômeno.

A utilização da cidade Santa Maria é apenas um mote para se alcançar o objetivo principal, o de quantificação do fluxo de pedestres e, com isso, criar um modelo desse fluxo para entender melhor seu funcionamento.

## 1.4. O PROBLEMA DE PESQUISA

### 1.4.1. Origem do problema de investigação

Na escolha de seu caminho, o pedestre tem muitos condicionantes que podem fazê-lo mudar de direção e tomar um caminho que não seja simplesmente, o mais curto metricamente. Pode preferir fazer seu percurso para passar por alguma loja de sua preferência, por um lugar mais seguro ou simplesmente pela escolha do caminho mais agradável.

Mesmo sem a percepção do pedestre, dos motivos que o levam a escolher um caminho, muitos deles passam pelas características configuracionais do espaço urbano. Os elementos configuracionais do espaço funcionam de maneira a “gerar” fluxo de pedestres, influenciando nas escolhas dos pedestres que usam os passeios. Dessa forma, entender a dinâmica desse movimento ajuda no planejamento urbano de nossas cidades por evidenciar os atributos relevados nessa escolha.

A origem do problema desta pesquisa é a necessidade de entender as causas que levam o pedestre a utilizar um determinado caminho, a escolher entre um e outro passeio.

### 1.4.2. Delimitação do problema

Este tema é delimitado pela seguinte questão: O que cria o fluxo de pedestres nas cidades de tecido tradicional? Neste estudo, pretende-se medir as

propriedades configuracionais e as medidas de desempenho na área central da cidade de Santa Maria e relativizá-las com o fluxo de pedestres da área. Através do método de processamento em paralelo, esses dados são processados pelas redes neurais artificiais, que identificam como ocorrem as relações. A partir das correlações de todos estes atributos (inputs) com o fluxo de pedestres parados e em movimento da área (output), pode-se descobrir quanto cada uma das variáveis explica do fenômeno.

### 1.5. A HIPÓTESE DO TRABALHO

O potencial de explicação/predição do modelo proposto quanto ao fluxo de pedestres pode ser melhorado unindo-se os métodos de sintaxe e desempenho e a tecnologia de processamento de redes neurais artificiais conjuntamente.

### 1.6. DELIMITAÇÃO DA UNIDADE ESPACIAL DE ANÁLISE

O pedestre se locomove pelo espaço urbano utilizando os passeios públicos como interface. A finalidade da pesquisa é o de analisar as relações entre o fluxo peatonal nas áreas centrais de cidades de traçados tradicionais e as propriedades do espaço urbano, a unidade de análise adotada é o passeio público. Para associar os dois métodos de análise que se referem a partes diferentes do sistema urbano e trabalham com atributos distintos, as variáveis são atribuídas ao passeio. Todas as medidas sempre são associadas a um passeio, em ambos os lados da rua.

### 1.7. ESTRUTURA DA PESQUISA

Capítulo 1 – Introdução: São apresentados o tema da dissertação, os objetivos e a justificativa. Posteriormente, são apresentadas as hipóteses.

Capítulo 2 – Referencial teórico: São estabelecidas as bases conceituais para entender o movimento de pedestres, suas (possíveis) causas e seus métodos de representação. Posterior à apresentação, são avaliadas as maneiras de conceitualização e, conseqüentemente, a escolha das variáveis para a modelagem desses fluxos.

Capítulo 3 – Redes Neurais Artificiais: É apresentado o método de processamento do modelo, buscando traçar um quadro sintético sobre a história, a estrutura do neurônio artificial e as topologias de rede. Após essa breve apresentação, onde são criados os subsídios necessários para o entendimento da rede, avaliam-se aplicações desse método para melhorar modelos e, por fim, demonstram-se como essas aplicações podem ser utilizadas em modelos urbanos.

Capítulo 4 – Metodologia: Nesta parte é apresentado o objeto empírico de estudo, bem como a metodologia utilizada para obter e avaliar as variáveis do espaço urbano e o fluxo de pedestres.

Capítulo 5 – Discussão e resultados: Através da aplicação da metodologia são criados os modelos utilizando as redes neurais artificiais, com as variáveis obtidas na área. Com o modelo, são realizados testes e avaliadas as variáveis, determinando sua importância e como elas influenciam o fluxo de pedestres.

Capítulo 6 – Conclusão: Por fim, apresentam-se as considerações sobre a modelagem do fluxo peatonal e sua importância para avaliar as decisões urbanísticas em micro e macroescala. E, ainda, sugestões para futuras pesquisas nessa área.

Para finalizar, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração desta dissertação e os apêndices.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para uma melhor compreensão da pesquisa proposta, neste capítulo são apresentados os conceitos primordiais que embasam o estudo realizado. Assim, num primeiro momento são introduzidos os conceitos de pedestres e o tema do fluxo peatonal nas cidades e, a seguir, são definidas as relações entre a sociedade e o fluxo de pedestres e a necessidade de interpretação desse fenômeno. A partir dessa abordagem, tem-se uma breve explicação sobre os fenômenos urbanos e as maneiras de representá-los como modelos. Então, as definições de modelos de pedestres são expostas, bem como alguns tipos existentes e que são utilizados atualmente.

Para finalizar o capítulo, são apresentadas as bases teóricas e metodológicas utilizadas neste trabalho, a sintaxe espacial e as medidas de desempenho dos passeios. Encerrando este capítulo são definidas as abordagens escolhidas para esta pesquisa

### 2.1. FLUXO PEATONAL

Andar é a forma básica de deslocamento do ser humano. No entanto, as pessoas não caminham simplesmente para vencer distâncias. Deslocam-se pelas cidades com objetivos distintos, como fazer compras, passear pelas ruas, sociabilizar, ir a algum lugar ou somente estar de passagem (Monhein, 1979).

Segundo Daros (2000), todos aqueles que andam a pé no espaço público, incluindo o portador de necessidades especiais, são considerados pedestres. O homem possui a capacidade tanto de se autotransportar como, também, de carregar objetos e, ainda por cima, levar recados próprios ou de terceiros. Para poupar energia muscular e dispor de maior mobilidade em longos percursos, o homem desenvolveu veículos, e, a partir disso, surgiram novas

terminologias, como passageiros e condutores, normalmente vinculadas como um acessório de locomoção. Contudo, essas atribuições decorrem de situações não naturais e têm a necessidade de algum acessório para locomoção.

Segundo pesquisa de origem-destino realizada pelo IPEA (2003), no Brasil, caminhar é o modo de transporte utilizado em 30% dos deslocamentos. A pesquisa demonstra que essa modalidade de deslocamento é compulsória para boa parte da população, que não possui renda suficiente para utilizar o transporte público e tampouco outros meios de locomoção e, mesmo assim, precisa alcançar seus locais de trabalho, educação, saúde e as interfaces com outros modais de transportes. De maneira geral é a população de baixa renda a que mais sofre com as decisões tomadas no sistema de circulação urbano das cidades, pois, segundo Melo (2005), são os usuários dos automóveis particulares os grandes favorecidos em acessibilidade e mobilidade. Assim, as necessidades de mobilidade<sup>1</sup> ainda são o maior desafio do planejamento urbano.

Muitos autores consideram o deslocamento a pé, como uma forma secundária de transporte por considerar que ela simplesmente complementa os outros meios de circulação. No entanto, podemos afirmar que essa definição é contraditória, pois todos os outros modos de transporte dependem em algum momento de um deslocamento a pé como acessório e ainda, é o único capaz de começar e terminar sozinho uma viagem sem a necessidade de outros modais como complemento. Isto é, os outros modos de deslocamento são acessórios para maximizar o raio de abrangência da caminhada (Magalhães *et al.*, 2004).

Segundo Dan Burden (2001), a medida chave para uma sociedade com mais habitabilidade é o número de crianças que vão a pé ou de bicicleta para a escola. Hoje em dia, menos de 20% delas fazem isso nos EUA. No Brasil, no

---

<sup>1</sup> Neste trabalho, mobilidade está sendo tratada como a capacidade das pessoas de se locomoverem de um lugar a outro dependendo da disponibilidade de utilizar os vários meios de transporte, inclusive a pé. Isto indica o grau de dificuldade que uma pessoa encontra, a partir de sua perspectiva pessoal, para efetuar deslocamentos em sua cidade, incluindo os meios de transporte disponíveis e o custo necessário para utilizá-los (Raia Júnior, 2000).

entanto, admite-se que, quanto maior a renda da população, menor é este tipo de deslocamento. Muitos países têm desconsiderado as formas básicas de transporte, como andar de bicicleta e a pé, rotulando-as como problemas e não admitindo que elas podem agir como solução para muitos problemas de trânsito. Segundo Portella (2002), o planejamento urbano deve ser voltado para o pedestre, e isso inclui o uso do modo de transporte não motorizado, que propicia uma série de vantagens para os habitantes, como aumento da segurança através da co-presença, uma maior independência dos grupos sociais (como crianças e idosos), redução da poluição atmosférica, dentre outras coisas. Cidades e porções de cidades devem ser planejadas para serem identificadas como “vizinhança” na escala da caminhada (Burden, 2001).

Um mau planejamento, ou a falta dele, é a causa de jornadas simples de curtas distâncias, que poderiam ser feitas a pé, dependerem de automóveis. A tendência nas grandes cidades é ocupar grandes porções de área do solo urbano com centros comerciais e seus gigantescos estacionamentos, dificultando ou inviabilizando os deslocamentos que não dependam de carros. Enquanto isso, a resposta dos planejadores urbanos para solucionar essas questões continua sendo criar ruas cada vez mais largas e um maior número de interseções, como é o caso de *Los Angeles* onde mais de dois terços do seu solo urbano é destinado à circulação (Southworth e Ben-Joseph, 1996). Essa condição se tornou tão extrema que, em diversas cidades, crianças são obrigadas a buscar meios de transporte motorizados para vencerem pequenas distâncias, simplesmente por não poderem atravessar uma rua de maneira segura (Burden, 2001).

O ato de “andar” é indiscutivelmente um meio de transporte, pois, como outros modais, depende de fatores intrínsecos (do usuário) e extrínsecos (do meio ambiente) para maximizar seu desempenho. No entanto, não podemos tratá-lo somente a partir desta abordagem. Destituir do “caminhar” suas outras dimensões é uma forma de simplificação que reduz à incompreensão do comportamento dos pedestres, desagregando atribuições significativas como:

- Comunhão com o ambiente – O pedestre está em contato direto com o ambiente a sua volta. Os atributos, como sons, odores, texturas, cores, entre outros, estimulam o pedestre a interagir com o ambiente, desenvolvendo relações de pertencimento e identidade.
- Elementos de sociabilização – O contato entre as pessoas e o desenvolvimento de vínculos sociais são mais intensos quando os pedestres estão expostos ao meio ambiente.
- Saúde e lazer – Cada vez mais, pessoas das mais diversas idades buscam atividades ao ar livre, para prática do lazer ou de exercícios físicos. E como consequência há um aumento na busca por espaços adequados para tais práticas.
- Ferramenta estética – O ato não intencional de vagar pela cidade, tomando posse do espaço urbano, foi chamado de *flanèrie* no século XIX. Hoje a apropriação da cidade também utiliza o ato de andar como fomento de cultura, como no projeto *Sonic City*, por exemplo, que permite a seus participantes criar música eletrônica ao andar pelos espaços e interagir com o ambiente urbano (Gaye *et al*, 2003).

Segundo Stanton *et al.* (1985), o movimento de pedestres ocorre em locais distintos, como calçadas, praças, passagem entre modais de transporte, para alcançar edificações, espaços públicos e outros mais. Os deslocamentos de pedestres são realizados em espaços específicos para esse fim, que podem ser públicos ou privados. Os espaços privados ocorrem dentro de edificações ou lotes particulares e possuem restrições ao movimento de todos os pedestres. Os espaços públicos, destinados aos pedestres, são aqueles com acesso irrestrito nas 24 horas do dia, compartilhados ou não com outros tipos de transporte. No entanto, o trânsito de pedestre deve ter preferência em relação aos outros em locais como, por exemplo, às calçadas, passeios públicos, praças, parques, vias para pedestres e demais espaços destinados aos pedestres. O limite desses espaços acaba onde a prioridade do pedestre termina e outras formas de

deslocamento têm a preferência. A ligação entre todos esses espaços cria o ambiente peatonal urbano (Zacharias, 2001).

Segundo o código brasileiro de trânsito (CTB Anexo I, 1997 p.94), a calçada é: “parte da via, normalmente segregada e em nível diferente, não destinada à circulação de veículos, reservada ao trânsito de pedestres e, quando possível, à implantação de mobiliário urbano, sinalização, vegetação e outros fins”. A calçada faz parte do sistema viário das cidades e possui um papel que vai além do trânsito de pedestres, implantação de mobiliário urbano, sinalização, entre outros; ela serve como interface entre as edificações e seu entorno. Os habitantes e moradores se apropriam da cidade e, mais especificamente, dos passeios públicos, transformando uma circulação em algo muito mais complexo e dinâmico.

“[...] As ruas das cidades servem para vários fins além de comportar veículos; as calçadas - a parte das ruas que cabe aos pedestres - servem a muitos outros fins além de abrigar pedestres. Esses usos estão relacionados à circulação, mas não são sinônimos dela, e cada um é, em si, tão fundamental quanto a circulação para o funcionamento adequado das cidades.

A calçada por si só não é nada. É uma abstração. Ela significa alguma coisa junto com os edifícios e os outros usos limítrofes a ela ou a calçadas próximas. [...] As ruas e suas calçadas, principais locais públicos de uma cidade, são seus órgãos mais vitais. Ao pensar numa cidade, o que lhe vem à cabeça? Suas ruas. Se as ruas de uma cidade parecem interessantes a cidade parece interessante; se elas parecem monótonas, a cidade parecerá monótona.[...]” (Jacobs, 2000 p. 29)

Como visto, a calçada é uma forma de circulação urbana, mas também é muito mais que isso. O modo como a sociedade se apropria dos passeios constitui uma forma de representação espacial dos arranjos sociais no nível local da calçada.

## 2.2. A SOCIEDADE E O DESLOCAMENTO DE PEDESTRES

Segundo Hillier (1984), as sociedades humanas, por si só, já são consideradas como fenômenos espaciais, pois ocupam regiões da terra e

estabelecem relações internas e externas a elas. Essas relações são praticadas através do encontro de pessoas, trocas de bens e informações.

O que define a forma do espaço urbano é a maneira como esses indivíduos se organizam no espaço, formando grupos com maior ou menor grau de associação e separação entre si. Esses padrões espaciais se desenvolvem criando padrões de encontro locais e entre os grupos espaciais formados. Esses grupos espaciais dão origem e condicionam a sociedade ao definir o espaço urbano fisicamente através de ruas, parques, praças, edificações e os caminhos de ligação entre eles. Certamente, não é possível afirmar que mudanças espaciais ocorridas na cidade são, exclusivamente, fruto das mudanças da sociedade, contudo, elas parecem estar intimamente ligadas (Hillier, 1984). As revoluções socioculturais tendem a influenciar o modo de vida da sociedade, transformando o espaço.

O deslocamento de pessoas pode ser explicado como o reflexo da sociedade que cria, implementa, regula e modifica seu campo de atuação e encontros. Holanda (2002), por exemplo, cita a transferência da capital do Brasil, para uma nova cidade, construída e estabelecida para este fim, como um “grandeloqüente gesto social, mas principalmente espacial”. A transformação de uma planície praticamente inabitada, no meio do Brasil, em sua capital administrativa, implica rearranjar espacialmente os atores sociais que governam o país.

Uma alteração morfológica pode ser originada de um gesto social gerado anteriormente. Pode-se afirmar que existe uma lógica social por trás de qualquer gesto espacial tomado pelos agentes urbanos. A forma da cidade é a maneira como se representa a relação entre os grupos sociais e suas formas de poder e, conseqüentemente, suas formas espaciais. Existem vários modos de inserção dos agentes sociais no funcionamento de uma sociedade e eles implicam distintos modos de vida, com necessidade de configurações diferenciadas que são ou não desempenhadas pelo espaço onde vivem. A desigualdade entre a

necessidade dos agentes e as características locais geram tensões entre a sociedade e o espaço urbano. O que pode acarretar mudanças no espaço através de intervenções locais específicas e também regulamentações no uso do solo, entre outras. Assim, as expectativas da sociedade, relacionadas ao desempenho da malha urbana, são as reais determinações da forma espacial. Compreendendo a forma da cidade podemos compreender a sociedade que a produziu (Holanda, 2002).

As implicações sociais da própria produção do espaço são refletidas na sociedade e as relações de poder entre as forças que geram o espaço parecem se retro-alimentar. A cidade parece estar eternamente incompleta, sempre em construção e modificação. Esta relação em que as pessoas geram o espaço e o espaço condiciona as pessoas foi descrita assim por Holanda (2002):

“A sintaxe espacial concentra esforços nos aspectos denominados co-presença, procurando, portanto, entender como o espaço arquitetônico interfere na maneira como as pessoas se movem, param, encontram outras pessoas, como o espaço se conceitua como criador e regulador de comportamentos.”

As áreas urbanas vem sendo projetadas a partir dos deslocamentos realizados por veículos automotores. Deste modo, é comum encontrar relações com esse evento, ou seja, congestionamento, poluição entre outros. Nos casos de áreas suburbanas, isso tende a se agravar pela sua segregação das áreas centrais, impelindo seus moradores a percorrer longas distâncias para trabalhar, fazer compras, etc. Uma forma de “animar” as áreas suburbanas é possibilitar várias atividades próximas e o deslocamento a pé entre elas. Um bom exemplo é a sinergia<sup>2</sup> desenvolvida em algumas áreas suburbanas de Toronto que apresentam um alto índice de movimento a pé (Filion *et al.*, 2000). Segundo o autor, esse movimento se deve à qualidade do passeio em grandes áreas possíveis de serem percorridas a pé, com grande integração com a vizinhança e associada a diferentes tipos de uso do solo.

---

2 Sinergia aqui se refere à forma de interação que traz benefício a todos os envolvidos.

A circulação urbana, seja ela peatonal ou motorizada, influencia o crescimento e a forma das cidades modernas. Para melhorar a circulação e tentar diminuir os impactos negativos que podem ser causados por ela, cada vez mais pesquisadores vêm se aprofundando em técnicas de modelagem que representem esse fenômeno.

### 2.3. MODELOS URBANOS E A CIRCULAÇÃO PEATONAL

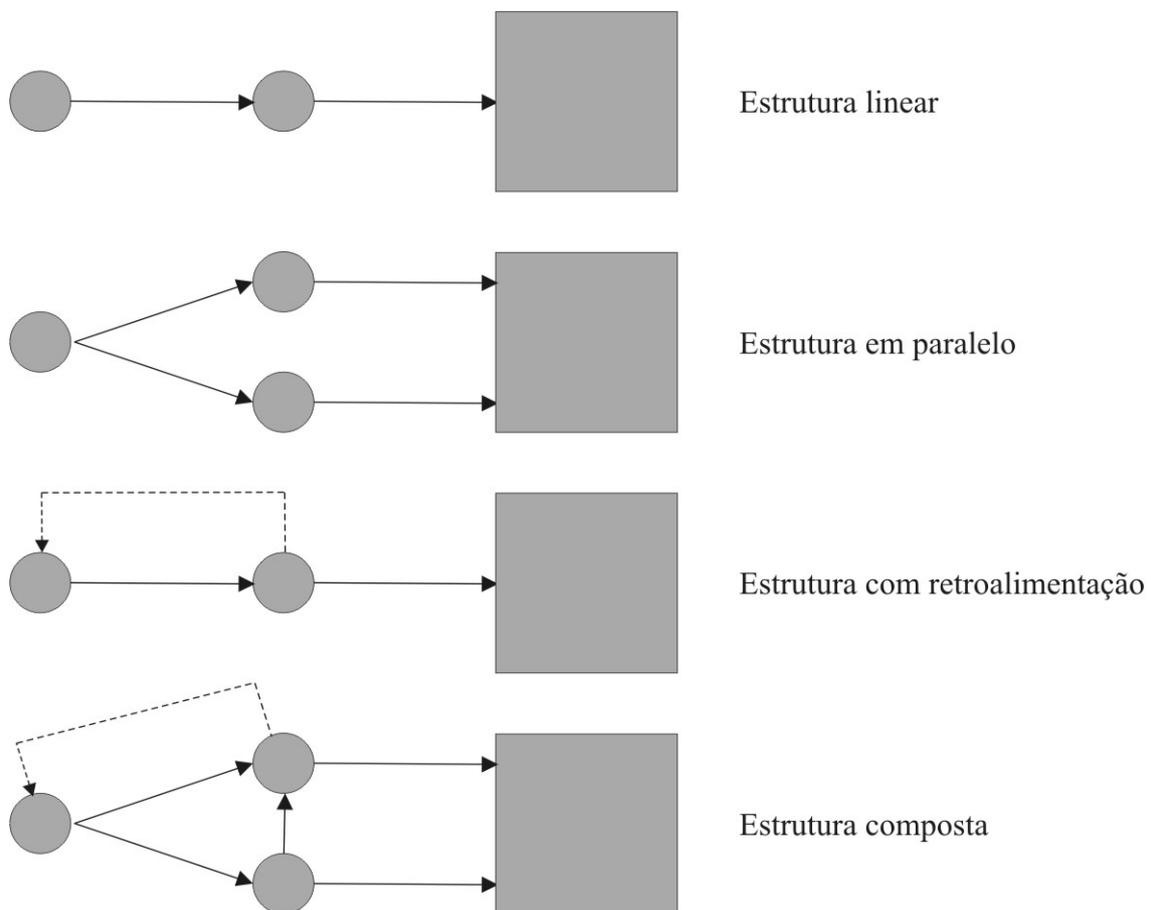
Modelos urbanos são, segundo Echenique (1976), uma representação da cidade como um sistema, em um quadro simplificado e inteligível da realidade e explicado segundo uma ou mais teorias. Os meios de representação de uma cidade, sendo físicos ou conceituais, ainda assim, são representações de uma realidade e não a realidade em si. Um modelo é sempre criado na expectativa de tentar explicar uma realidade e criar uma representação simplificada e um processo de verificação e obtenção de conclusões, através da observação e abstração de um fenômeno. Segundo Echenique (1976), além da função dos modelos de representar a realidade existem outras, mais específicas, que são:

- Função psicológica – Permite visualizar e compreender fenômenos complexos;
- Função aquisitiva – Permite definir e ordenar as informações de modo a criar uma estrutura lógica;
- Função lógica – Cria o ferramental que permite explicar como ocorre um evento ou fenômeno;
- Função normativa – Compara os fenômenos com alguns outros que possuem semelhanças;
- Função cognitiva – Utilizada para comunicar idéias científicas;
- Função sistemática – Provê uma estrutura onde uma interpretação da realidade pode ser verificada;
- Função partitiva – Provê uma estrutura onde se podem definir

estudos parciais e sua interação com o resto do sistema;

- Função avaliativa – Permite avaliar o efeito de uma estrutura onde existam diferentes decisões.

Um sistema é um conjunto de elementos com atributos relevantes que estão interligados entre si, mas, mesmo assim, apresenta uma interdependência entre eles (Novaes, 1981). Os sistemas podem ser abertos ou fechados. Nos sistemas abertos, os elementos e o entorno possuem alguma relação, e nos fechados suas relações são invariantes. Os modelos podem ser estruturados como:



**Figura 1 - Estrutura dos sistemas. Fonte: adaptado de Echenique (1976).**

A teoria é o que dá aporte ao conjunto de fenômenos interligados, esclarecendo as relações entre seus atributos e suas interdependências, com a característica de ser bastante abrangente e geral. O pesquisador deve buscar uma

teoria que explique uma realidade observada, identificando, assim, como o sistema estudado se compõe através de suas variáveis e as relações relevantes entre elas no sistema estudado; a partir daí, é necessário desenvolver uma analogia formal através de uma linguagem específica para construir o modelo (Echenique, 1976; Novaes, 1981).

O mais importante de um modelo é sua finalidade, ou seja, para que o modelo foi construído (Novaes, 1981). Como o modelo não abrange todas as representações do meio, mas somente aquelas que têm conexão com seu objetivo, ele age especificamente para o que foi pretendido e não pode ser utilizado para qualquer fim indiscriminadamente. Os modelos podem ser classificados como (Echenique, 1976; Novaes, 1981):

- Descritivo – Criado para se entender a estrutura do sistema, assim, não possuem maneiras de se interagir externamente nele. Sua atribuição principal é explicar um fenômeno.
- Explorativo – A intenção desse tipo de modelo é de descobrir, através de investigação, outras possibilidades prováveis e testar se determinada teoria pode explicar a realidade utilizada como comparação. Difere-se do modelo anterior em função de sua capacidade de alterar seus parâmetros para testar novas possibilidades, mas isso sem que exista uma atuação externa do meio sobre ele.
- Preditivo – A principal finalidade deste tipo de modelo é de prover uma imagem futura do sistema supondo-se que a realidade muda com o passar do tempo. Podemos dizer que quando um modelo do tipo explorativo envolve a variável “tempo”, ele é denominado de preditivo. Neste tipo de modelo é possível fazer uma previsão de acontecimentos.
- Operacional – Neste modelo existe a possibilidade de se inserir fatores exógenos que modifiquem o modelo como um todo.

Muito foi desenvolvido na área da modelagem urbana desde seu início. Desde então, os modelos sofreram várias modificações e implementos e, sobretudo, mudanças conceituais em suas bases de decisão lógica. Os primeiros modelos eram caracterizados pela sua amplitude e ligados ao paradigma do planejamento racional, que era, talvez, a mais ambiciosa expressão do desejo de entender completamente os intrincados mecanismos do desenvolvimento urbano e, decorrente disso, entender e controlar o futuro das cidades. Segundo Wegener (1994), os primeiros modelos urbanos falharam por serem muito abrangentes, precisarem de muita quantidade de dados para funcionar e possuírem pouca estrutura teórica embutida. Tratar os modelos para buscar uma resposta exata aos problemas urbanos é ilusório.

De certa maneira, as teorias que eram aplicadas nesses modelos urbanos de predição eram caracterizadas por tratar os fenômenos urbanos como além do entendimento e do controle, ou seja, que estranhos eventos dominavam seu comportamento. Segundo Batty (2001), há 50 anos atrás a construção dos modelos e suas teorias era dominada pelo pensamento de que não era possível simplificar os fenômenos para capturar a essência da sociedade e, assim, compreender e tomar decisões.

Hoje em dia, apesar do conhecimento adquirido de que as cidades são sistemas intrinsecamente complexos, a simplificação não é mais vista como inabilidade na construção de modelos e técnicas. Pelo contrário, a simplificação das relações complexas de sistemas compostos, de agentes e objetos heterogêneos, demonstra mais facilmente as correspondências entre seus elementos, entre si e com o meio. Os modelos urbanos não buscam mais a predição, de modo a antever, com exatidão, como estará o sistema no futuro, pois isso é improvável; procuram, sim, entender a estrutura das relações entre suas variáveis. A predição agora pode ser entendida como qualificação, criando cenários para estudar as conseqüências resultantes das mudanças possíveis

através da variação dos arranjos dos elementos. Nesse tipo de abordagem, podemos propor cenários para avaliar os parâmetros e suas diferentes alterações, bem como identificar como elas se realizam e criam conseqüências no meio.

Segundo Batty (2001), podemos diferenciar os modelos em complexos e tradicionais. Uma maneira de distingui-los é que os modelos tradicionais têm seus parâmetros ajustáveis para se chegar a uma “sintonia fina”, enquanto nos complexos esta opção não está disponível, pois não é necessária. Na simulação, os modelos complexos tendem a originar diferentes tipos de cenário. À primeira vista pode parecer que os cenários originados representam “futuros diferentes”, mas na verdade isso é a definição das possibilidades espaciais. Essa abordagem permite ao pesquisador variar o modelo, tanto na estrutura, quanto nas variáveis, permitindo explorar o espaço em todos os cenários possíveis. A melhor maneira de se caracterizar um sistema complexo é pelos seus estados possíveis; assim, existem tantas possibilidades de arranjo que eles se tornam irrealizáveis, ou seja, existe uma dinâmica tal, que seus elementos podem se desenvolver de várias formas através de adaptação, mutação, transformação e assim por diante (Batty 2001). Sem mudar as características das relações entre seus elementos, os sistemas têm possibilidades de assumir inúmeras formas.

O conceito utilizado por Echenique (1976) de que “através da modelagem em planejamento urbano pode-se visualizar a forma como políticas introduzidas para algum elemento dos sistemas pode afetar todos os demais” pode parecer ultrapassado, no entanto, a idéia central continua contemporânea. O benefício de qualquer modelo é permitir a possibilidade da visualização dos conceitos e atributos existentes através da representação da realidade.

### 2.3.1. Histórico da modelagem urbana

Na década de 50 (século XX) nasce a idéia de planejamento mais racional, com a contribuição de modelos computacionais de uso do solo e

transporte atingindo seu auge na década de 60 (século XX). Dois eventos sócio-políticos criam o interesse pela modelagem urbana nesta época: o primeiro foi a necessidade de uma base mais científica para as tomadas de decisões, e o segundo, um interesse governamental a respeito dos problemas urbanos, isto é, os problemas de tráfego e de planejamento deveriam ser tratados mais ordenada e cientificamente (Putnan apud Berling-Wolff, 2004).

Após a fase inicial a idéia de modelos falhou de muitos modos. Muitos desses modelos nunca se tornaram totalmente operacionais, talvez por serem ligados com os paradigmas do planejamento racional que tenta entender completamente todos os mecanismos da cidade e controlar seu futuro (Wegener, 1994). Na década de 70 (século XX), Lee escreve um artigo sobre a discrepância entre os modelos e a mudança no contexto do planejamento. Sua crítica partiu do fato de os modelos da época serem muito abrangentes, muito grosseiros para serem usados nas decisões de mercado, requisitando muitos dados e possuindo pouca estrutura teórica. De certa maneira, esse artigo foi de muita ajuda para o campo da modelagem, pois os modeladores desenvolveram técnicas, teorias e tecnologia computacional suficiente para trabalhar com os dados necessitados.

A primeira geração de modelos utilizava basicamente o conceito Newtoniano de teoria gravitacional. Os modelos baseados nessa teoria geralmente representavam que a influência mútua entre dois corpos decai com a distância em uma relação de viagens necessárias entre duas áreas urbanas. Um dos modelos mais conhecidos desta linha é o gravitacional de Ira Lowry, que utiliza equações de interação espacial e princípios de base econômica para explicar o processo de geração e localização de atividades. Segundo Souza, (2002), esse modelo apresenta o sistema urbano como um mecanismo para resolver conflitos entre vários agentes. Eles necessitam de solo urbano para implementar suas diversas atividades buscando o equilíbrio através da abordagem macroespacial estática.

A partir dos anos 60 (século XX), muitos modeladores concluíram que

trabalhar com a circulação urbana sem considerar o uso do solo era uma incoerência e iniciaram o desenvolvimento de modelos que integravam esses elementos. Alguns desses tornaram-se operacionais, mas possuíam a carência de não incorporarem em suas estruturas lógicas mecanismos de demanda e oferta ou mesmo mecanismos de preço para ajustar o equilíbrio de mercado (Berling-Wolff, 2004).

Muitos desses modelos utilizavam a teoria do lugar central para explicar o tamanho e distribuição funcional das cidades, entretanto tal teoria é irreal ao tratar dos padrões comportamentais dos consumidores. A partir dessa concepção, um grupo de modeladores começa a simular a operação dos mercados imobiliários trabalhando com técnicas de programação linear para predição de localizações residenciais. Como esses sistemas não possuíam representação espacial, não eram adequados a áreas da cidade com um crescimento muito rápido (Berling-Wolff, 2004).

A teoria da maximização da entropia começa a ser aplicada em modelos espaciais urbanos e de transportes em 1970 e descreve o comportamento humano com técnicas físicas de análise de comportamento molecular. Entre outras coisas, essa técnica de análise indica como se relacionam espacialmente diferentes formas de assentamentos, aparentemente separados. Outros modelos foram criados a partir do comportamento de escolha individual dos habitantes. Esses modelos, chamados de “Modelos de utilidade aleatória”, consistiam em um componente determinístico, a parte que podia ser explicada do comportamento, e em componentes aleatórios, que representavam o comportamento individual.

Atualmente, os modelos já resolvem muitos problemas, como mudanças no uso do solo, utilização dos transportes, distribuição das atividades, fluxo de pedestres, entre outros. utilizando novas tecnologias e teorias para auxiliar no processamento das informações.

Embora esse pequeno histórico seja reducionista e limitado, é muito útil sua apresentação para auxiliar a compreensão das diferenças entre os conceitos e

métodos utilizados para a modelagem do espaço urbano, e assim, entender a necessidade de continuar evoluindo, com novas técnicas, teorias e métodos.

### 2.3.2. Técnicas incorporadas à modelagem urbana

Após os anos 80, devido à chamada “revolução da informática”, os computadores se tornam cada vez mais acessíveis e com um maior poder de processamento. Problemas que antes não eram possíveis de serem resolvidos agora tinham novas possibilidades. O modelador teve a oportunidade de inovar, utilizando novas técnicas e teorias para aplicação em modelos.

As novas possibilidades de tratamento das informações fizeram os modelos urbanos melhorarem significativamente e, para não cometer os mesmos erros do passado, descobriram que a chave para o sucesso era criar “módulos” independentes para os modelos (Berling-Wolff, 2004). Com isso, os sub-modelos passaram a trabalhar cada parte do problema, utilizando teorias e técnicas para cada um desses elementos separadamente. Assim, diferentes teorias e diferentes cálculos operaram resolvendo melhor cada um dos problemas específicos. Algumas técnicas inovadoras incorporadas na modelagem são introduzidas a seguir.

Autômato celular são sistemas de células que interagem entre si de uma forma simples, mas com uma complexa variedade de fatores. A teoria por trás dos autômatos celulares não é nova, foi criada pelo físico Stanislaw Marcin Ulam, de 1940, e utilizada pela primeira vez por John Von Neumann para investigar sistemas auto-reprodutivos. Esses modelos podem ter um grau de complexidade muito grande, gerando estruturas muito complexas e podem ser utilizadas para explorar altos graus de questões teóricas em dinâmica e evolução (Berling-Wolff, 2004). Existem muitas publicações e trabalhos sobre a utilização de autômatos celulares em modelagem urbana, resultando em estudos que mostram como uma variedade de fatores e funções pode interferir na complexa

dinâmica de uma cidade.

Os sistemas de informação geográfica (SIG) evoluiu com muita rapidez a partir da década de 70, no entanto, não houve um avanço significativo nas suas bases conceituais. De natureza interdisciplinar, teve suas raízes na cartografia computadorizada e arquitetura da paisagem e oferece várias ferramentas que auxiliam na expressão dos procedimentos lógicos e matemáticos sem a obrigação de uma repetição desnecessária de outros métodos (Câmara, 2003). Utilizado para manipular, armazenar, visualizar e analisar dados espaciais, o SIG resolveu problemas simples de representação computacional do espaço. Todos os aspectos são compreendidos de elementos gráficos, como linhas, polígonos e pontos, que são ligados a uma base de informação (como uma tabela ou um banco de dados) que apresenta suas características e localização espacial. A utilização do SIG trouxe pelo menos duas conseqüências imediatas à modelagem urbana: tornou as plataformas mais acessíveis e amigáveis ao usuário e acabou com a dificuldade de visualização do problema, ajudando o entendimento do significado de determinadas características (Berling-Wolff, 2004). A incorporação do SIG em modelos urbanos mudou a maneira de análise espacial e visualização espacial dos dados e a utilização dessa técnica está presente hoje em dia em vários modelos urbanos.

Os Fractais são utilizados para descrever a complexidade dos padrões naturais, utilizando regras de crescimento aleatórias. A maioria dos modelos urbanos contemporâneos baseia-se em ligações entre localização, densidade e evolução urbana, no entanto, as aplicações que utilizam fractais baseiam-se em formas e mudanças geométricas do sistema. As primeiras abordagens nesse campo partiram da física, através de estudos de certos agrupamentos de partículas que têm similaridade espacial em várias escalas. As estruturas geradas por geometria fractal têm seu crescimento gerado de um agrupamento inicial, em seguida, outras partículas vêm se deslocando estocasticamente pela região delimitada, uma de cada vez. Se a partícula parar no agrupamento inicial

permanece ali, se for para fora da região delimitada é excluída. A partícula que se fixa à vizinhança do centro vai aumentando o tamanho do agrupamento inicial, gerando formas semelhantes aos processos de assentamento. White e Engelen (apud Berling-Wolff, 2004) não concordaram com o crescimento aleatório dos fractais porque, apesar de se aproximar, não correspondem a nenhum processo de crescimento urbano atual. Então desenvolveram um modelo que gera padrões de fractais a partir de regras de comportamento espacial, combinado com autômatos celulares e auto-organização.

Lógica Fuzzy é uma maneira de se tratar com as incertezas na tomada de decisões com uma técnica de solução de problemas, possuindo uma vasta aplicabilidade. O benefício da lógica *fuzzy* está em sua capacidade de tirar conclusões de informações vagas, ambíguas ou qualitativamente incompletas. A lógica *fuzzy* vem de uma generalização dos tradicionais conjuntos da lógica clássica que utiliza verdadeiro ou falso, só que ao invés da informação ser totalmente verdadeira ou totalmente falsa, a lógica *fuzzy* trabalha com intervalos entre 0 e 1, levando a graus de validade da informação, ou "grau de verdade". Os grupos de informações são rotulados qualitativamente e seus elementos são rotulados devido ao seu grau de pertencimento a cada grupo. Um pesquisador que utiliza a lógica *fuzzy* em seus modelos de predição urbana é Jianguo Wu, que incorpora este conceito para calcular as probabilidades de transição de autômatos celulares por critérios mais subjetivos, mudando a sua aplicabilidade nas células de acordo com o tempo decorrido (Berling-Wolff, 2004).

As redes neurais artificiais (RNAs) existem há muito tempo, mas só começaram a ser realmente incorporadas nos modelos urbanos após a década de 90. Seu funcionamento é muito simples: contam com neurônios que processam as informações generalizando-as a partir de exemplos.

"Uma rede neural é meramente uma forma pela qual o *conhecimento empírico* sobre um fenômeno ou ambiente de interesse pode ser codificado através de treinamento. Por conhecimento 'empírico' entendemos um conjunto de medidas que caracterizam o fenômeno" (Haykin, 2001 p. 110).

Como a cidade é um sistema que muda frequentemente suas características, um modelo que aprende com os problemas e que possa alterar sua estrutura de uma maneira adequada é fundamental. Muitos modelos urbanos e de transporte já utilizam as propriedades de aprendizado das redes neurais artificiais (Tabela 1).

**Tabela 1 - Alguns exemplos de sistemas de informação urbana que utilizam RNAs. Fonte: adaptado de Rubenstein-Montano (2000).**

DESENVOLVEDOR (ES)	DESCRIÇÃO:
AMIN, RODIN, LIU & RINK (1998)	PREDIÇÃO DE TRÁFEGO.
FENG & XU (1997)	UTILIZA TEORIA FUZZY ASSOCIADA AS RNAs.
MURNION (1996)	ANÁLISE ESPACIAL - PLANEJAMENTO DO USO DO SOLO.
PARK & YANG (1994)	PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE - CONTROLE DE TRÁFEGO.
ROADKNIGHT, BALLS, MILLS & PALMER- BROWN (1997)	MODELAGEM DE DADOS DO MEIO AMBIENTE.
RODRIGUE (1997)	MODELAGEM DE USO DO SOLO -INCLUINDO PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES.
SARNE & POSTORINO (1994)	PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE - FLUXO DE TRÁFEGO.

Como o objetivo deste tópico é apenas o de traçar um paralelo entre as novas tecnologias que foram incorporadas aos modelos, o aprofundamento sobre redes neurais artificiais será descrito com detalhes no próximo capítulo (capítulo 3).

## 2.4. MODELOS DE PEDESTRES

Cada pedestre se locomove à sua própria maneira, com suas características mentais e físicas únicas que o distingue de todos os outros pedestres. No entanto, o comportamento humano é baseado em certas decisões. Ao construir um modelo desse comportamento, presumimos que nas atitudes tomadas pelos pedestres existem certas regularidades. Helbing (1998) afirma que essa decisão é justificada porque, usualmente, os pedestres se movem pela maximização da utilidade, ou seja, os pedestres se movem de modo a atingir seu objetivo, seja ele qual for, o mais breve possível, minimizando atrasos ao evitar contatos desnecessários com outros pedestres e obstáculos.

O movimento do pedestre é definido, entre outras coisas, por sua velocidade. Em seu deslocamento, o pedestre encontra à frente obstáculos inesperados e outros pedestres. Ao tentar evitá-los, ele pode mudar sua velocidade, manobrar seu corpo ou simplesmente interromper o movimento. Durante todo o processo da caminhada, os pedestres buscam manter sua velocidade ideal, e, após as interrupções do percurso, estão sempre tentando se aproximar novamente dela. Os desvios e paradas impulsivas feitos pelos pedestres também são originados por outras atrações inesperadas, como vitrinas de lojas e algum entretenimento ao longo do caminho (Helbing, 1998).

A partir do comportamento individual, pode-se derivar características para aplicar ao grupo de pedestres parados ou em movimento num espaço. Defini-se por grupo, dois ou mais pedestres que se encontram para conversar, andar juntos, etc. A motivação implícita existente em permanecer em grupo é chamada de “atração”, e deve possuir uma força maior do que a motivação de continuar o seu caminho e chegar ao seu destino (Helbing, 1998). Outro comportamento de grupo de pedestres é chamado de espera<sup>3</sup>. Depois de algum tempo de espera em uma fila de pessoas, os indivíduos começam a andar um pouco; mesmo que a fila não avance, o seu sucessor irá acompanhar o seu movimento. Esse processo se propagará em toda a fila como uma espécie de onda até o seu final. Esse fenômeno ocorre quando a vontade do indivíduo de continuar o seu caminho sucumbe à pressão do tempo, rompendo o equilíbrio criado entre a motivação de ir adiante e a de respeitar a distância da pessoa à frente (a territorialidade do espaço).

Existem diversos tipos de representações possíveis para descrever os pedestres, sua movimentação e o ambiente onde ocorrem. Um bom exemplo são os modelos que simulam o fluxo de pedestres, eles são usados para investigar as

---

<sup>3</sup> Espera é tratada aqui como a característica do comportamento em pedestres que esperam em filas. Estas características também são encontradas em grupos de pedestres ou multidões ao deixar um ambiente através de uma saída com capacidade menor do que o fluxo de pessoas presentes.

relações entre as pessoas e o seu meio, dentre outras coisas. A dificuldade da análise dos fluxos de pedestres a partir da modelagem reside na falta de ferramentas que simulem as alterações do fluxo a partir de mudanças no ambiente urbano e possam validar tais alterações através de dados reais. Para solucionar essa deficiência, muitos modelos buscam respostas em regras físicas e matemáticas, fazendo alusão ao comportamento de outros fenômenos e relacionando com características encontradas nos pedestres.

Dos modelos de pedestres existentes, sua maioria vem da área de engenharia de transportes e estudam o deslocamento dos pedestres como um modal da circulação urbana, muitas vezes, fazendo analogia ao movimento dos veículos. Como estes dois modos de deslocamento, dos pedestres e dos veículos automotores, diferem muito, conseqüentemente, suas variáveis de análise se comportam também de maneira distintas. Segundo Alves (1999), esse fato por si só já desacredita a utilização integral dessas metodologias para a quantificação do fluxo de pedestres.

Os primeiros estudos de modelagem de pedestres analisavam especificamente as velocidades, ultrapassagens, tamanhos das “pistas”, cruzamento, etc. Contudo, devido às grandes diferenças entre os modelos utilizados em transportes urbanos motorizados e seu modal de deslocamento a pé foram progressivamente surgindo adições, tanto metodológicas, quanto estruturais nesse tipo de abordagem. Fruin (1971) foi o pioneiro, admitindo que trabalhar com vias destinadas a pedestres sem levar em conta sua qualidade era um erro. Partindo dessas recomendações, desde 1985, o Highway Capacity Manual já sugere que devam ser utilizados métodos qualitativos para a análise dos passeios e dos espaços destinados a pedestres, mesmo não deixando claro como isso deva ser feito. Uma metodologia de avaliação qualitativa dos passeios suficientemente abrangente com possibilidade de adaptação a outros passeios, surge em 1994 com o trabalho de Khisty, e a partir daí muitas outras têm se desenvolvido.

Avaliar o desempenho da área da rua destinada aos pedestres é muito mais complexo do que dos veículos (Landis, 2001). Os veículos automotores estão isolados no leito carroçável e seu ambiente é menos sujeito a influências externas do que o dos pedestres. Projetistas e planejadores urbanos devem possuir uma base sólida de conhecimento para determinar com acuidade as características físicas que as calçadas devem possuir para acomodar os pedestres. Assim, é possível identificar as reais necessidades, determinando quais características esse espaço deve possuir, como por exemplo: a qual distância as calçadas devem ficar dos veículos, quando e que tipo de proteção devem ter, qual a largura ideal da calçada, entre outros. Avaliar as características do passeio é um importante pré-requisito para efetivamente projetar espaços adequados para pedestres (Osaragi, 2004).

Simulações do fluxo de pedestres também podem ser utilizadas para determinar, mais eficientemente, as estruturas destinadas aos pedestres. Uma melhoria no arranjo locacional do comércio e serviço também pode ser alcançada, pois os pedestres procuram áreas que consideram adequadas para realizar suas compras (Helbing, 1998). O volume esperado de vendas, de determinados produtos, está intimamente ligado com a dimensão do fluxo de pedestres que passa por seu estabelecimento (Kurose, 1995). Em consequência disso, muitos lojistas procuram se estabelecer em vias com grande fluxo de pedestre e fácil acesso. Modelos de pedestres podem ajudar na localização de novos empreendimentos, criando estratégias de suporte e identificando os melhores lugares.

Os fluxos de pedestres são estudados há mais de três décadas, através de vários modos de avaliação, entre eles está a observação, fotografia, filmagens que mostram o evento e o tempo decorrido, entre outros, (Helbing *et al.*, 2001). A seguir serão apresentadas maneiras de caracterização dos movimentos de pedestres e dos espaços destinados a eles.

### 2.4.1. Tipos de representação

Basicamente, os estudos realizados nesta área tiveram como objetivo investigar como se comportam os pedestres, desenvolver conceitos de nível de serviço, estabelecer princípios de desenho de infra-estrutura para pedestres e, ainda, estabelecer diretrizes de planejamento urbano.

Segundo Haklay *et al.*, (2001), devido à grande complexidade do tema, a maioria dos modelos de pedestres tem seu foco em uma parte bem específica, diferenciando-se basicamente na escala geográfica: da microescala do movimento de evitar obstáculos, passando pela média escala dos indivíduos que planejam viagens de compras com múltiplas paradas, até a macroescala do fluxo das massas de pessoas indo de um lugar para outro.

Dentre esses, um grande número de modelos, dos mais variados tipos têm sido desenvolvidos, cada um buscando explicação para os fenômenos em uma ampla variedade de suposições e teorias. No próximo item serão apresentados alguns desses tipos, agregados por semelhança de teoria ou operacionalidade.

#### 2.4.1.1. Modelos de espera, de transição, estocásticos e de escolha de rotas

Os modelos de espera (*queueing models*) são utilizados, em sua maioria, para descrever como os pedestres se movimentam através de diferentes cruzamentos de nós, como, por exemplo, entre ambientes diferentes de uma edificação ou entre calçadas do espaço público. Geralmente, utilizam cadeias de Markov em sua base lógica. Nestes modelos, tempos de espera aleatórios são atribuídos a cada um desses nós, dependendo da demanda e da interface entre os espaços. Esses modelos são muito utilizados para descrever comportamento de pedestres em caso de evacuação de edifícios (Hoogendoorn, 2004; Løvås, 1994). Utilizando o modelo EVACSIM, Hoogendoorn (2004), avalia o tráfego de pedestres, considerando cada um deles como um objeto de fluxo separado dos

demais e interagindo entre si. Esse modelo foi inicialmente criado para simular a evacuação segura de grandes edificações mas teve seu uso também para espaços públicos e *shopping-centers*.

Os modelos de matriz de transição (*transition matrix model*) funcionam praticamente como o anterior. No entanto, a rede de acessibilidade dos pedestres é representada por ligações e nós. A distribuição de pedestres pela rede depende da densidade da população, das áreas de comércio, das áreas destinadas aos pedestres (calçadas e praças) e da distância que será percorrida entre esses elementos. Nesse tipo de modelo existe a afirmação de que o pedestre sempre buscará a menor distância possível, do tipo “tudo ou nada” (Helbing, 2001; Kurose e Hagishima, 1995).

Modelos estocásticos (*stochastic model*) personificam a formulação matemática dos padrões microespaciais dos grupos de pedestres, formando uma equação extremamente complicada e segundo Helbing (1998, p.8) “impossível de ser resolvida analiticamente e difícil de se resolver com o auxílio de um computador”. Essas equações são mais facilmente resolvidas quando fazem analogia entre o fluxo de pedestres e outros fenômenos físicos, como por exemplo, a cinética das moléculas de gases comuns. Ashford (1976) criou um modelo estocástico composto por uma série de modelos de espera interligados que simulam a variabilidade na escolha de rotas do pedestre no ambiente programado. Constituiu um avanço ao modelo de espera, por ser constituído de mais de um espaço destinado a pedestres, todos eles interligados.

Modelo de escolha de rotas (*route choice model*): esse tipo de modelo trata o deslocamento dos pedestres como se estes escolhessem a melhor rota de deslocamento na relação custo-benefício. A teoria por trás desse tipo de modelo descreve o comportamento dos pedestres pelo seu desejo em minimizar os gastos no seu deslocamento. O custo da viagem, nesse caso, seriam os deslocamentos a mais, ou seja, os desvios de rota necessários para se atingir seu objetivo de acordo com os obstáculos encontrados, entre eles, o caminho, andar muito

próximo a outros pedestres e/ou obstáculos, entre outros. Assim, entre todas as possíveis rotas, os pedestres escolhem caminhar pelas melhores, isto é, aquelas livres de obstáculos ou que possuem os obstáculos com menor grau de dificuldade (Hoogendoorn e Bovy, 2004).

Todos os modelos referidos aqui possuem elementos em comum. Eles são utilizados para descrever o comportamento de pedestres em diversas situações, como, por exemplo, saídas de incêndio, evacuação em caso de emergência, entre outros.

#### 2.4.1.2. Modelos formulados através da analogia à cinemática dos gases e fluídos

Esse tipo de analogia foi utilizado primeiramente em modelagem de fluxo de tráfego veicular. As equações de cinemática<sup>4</sup> de gases do tipo *Boltzmann* utilizadas para descrever o desempenho de gases comuns são aplicadas analogamente na formulação do comportamento de grupos de pedestres. Contudo, para aplicação no caso dos pedestres, são relevadas características específicas, como as suas intenções e interações (Helbing, 1998).

Helbing (1992) observou a similaridade entre o movimento de pedestres e às linhas de fluxo dos fluídos em filmagens, em câmera lenta e rápida. Dessas análises de deslocamento de pedestres, dividiu a população observada em amostras, conforme o padrão de movimentação apresentado em cada uma delas. No passo seguinte, adaptou equações análogas aos gases para os pedestres, mas adicionou características próprias da movimentação de pedestres. De suas formulações, observou que os pedestres possuem a intenção de continuar andando com sua velocidade constante para chegar a seu objetivo.

As analogias entre multidões de pedestres e a cinemática dos gases é de

---

<sup>4</sup> Parte da mecânica que estuda os movimentos sem se referir às forças que os produzem ou às massas dos corpos em movimento (Ferreira, 2004).

grande auxílio para interpretar o comportamento humano quanto a sua dinâmica de movimento, embora sejam extremamente complicadas de formular (Helbing, 1992 e 2000).

Os modelos que fazem analogias a fluídos têm uma abordagem similar ao movimento de partícula de gases, e suas equações podem ser derivadas delas. Segundo Helbing (1992), são adequadas somente para relacionar o movimento de pedestres em grande quantidade, ou seja, velocidade média e velocidade variante, mas não uma detalhada variação de velocidade.

Helbing (1992 e 2000) atribuiu regras para o planejamento de tráfego de pedestres para aplicação nas cidades através de equações de fluidodinâmica, como:

- Cruzamentos de diferentes direções de movimento devem ser evitados.
- Direções opostas de fluxo devem ser separadas por faixas.
- Devem ser evitadas grandes variações de velocidade o que pode ser realizado através de andar em formação, como é feito nos exército.
- Evitar obstáculos, passagens estreitas e grandes densidades de pedestres.

O autor não demonstra como ou onde suas regras podem ser aplicadas para planejamento de cidades. Para serem realmente eficazes, as formulações que utilizam analogias aos fenômenos físicos devem possuir muitas correções, levando em consideração os aspectos únicos encontrados no fluxo de pedestres (Helbing, 2000). O seu uso está, de certa forma, limitado a duas condições: suas formulações complicadas e sua dificuldade de aplicação.

#### 2.4.1.3. Modelo de nível de serviço

Nos últimos anos, as autoridades das áreas metropolitanas dos Estados

Unidos tiveram a iniciativa de criar comunidades mais habitáveis, onde andar a pé ou de bicicleta são considerados meios de transporte eficientes e devem ser estimulados. Houve a necessidade de mudanças na estrutura física dos passeios, através de melhorias nos fatores que determinam e/ou condicionam o fluxo para “encorajar” as pessoas a utilizar esses modais de transporte (Landis *et al.*, 2001). Assim, existiu a necessidade de compreender como, quais e de que forma as variáveis do ambiente influenciam o deslocamento do pedestre, no sentido de se sentir confortável e seguro por onde andava.

Landis *et al.*, (2001) desenvolveu um modelo de base estatística para identificar estes fatores, por meio de correlação linear. O objetivo desse modelo foi medir como a qualidade, ou o nível de serviço da calçada, altera a percepção de segurança e conforto dos pedestres, desconsiderando as intercessões. O autor aventou a possibilidade de criar um modelo virtual para estimar o desempenho das calçadas, mas esta idéia foi abandonada devido à dificuldade de comparar o modelo com os dados reais para validar seu desempenho e ao alto grau de dificuldade contido em replicar todas as respostas aos estímulos contidos no meio ambiente urbano por parte dos pedestres.

Nesse modelo foram encontrados os fatores determinantes mais prováveis, entre as variáveis do nível de serviço e o senso de segurança e o conforto dos pedestres, em relação à via estudada. Esse modelo encontrou através de extensa calibragem na formulação das variáveis de entrada (inputs) e de saída (output) uma correlação de *Pearson* de 0,85. Ao criar um modelo que trata dos caminhos de pedestres através da relação entre a capacidade da via (Highway Capacity Manual) e os níveis de serviço, o autor foi capaz de medir e qualificar os passeios de uma maneira geral, considerando sua importância para o pedestre.

No entanto, Helbing *et al.*, (2001) afirma que criar diretrizes de planejamento utilizando métodos de regressão não é muito apropriado, pois esse método tem pouca capacidade de correlação em ambientes que possuam características diferenciadas, para a modelagem de fluxo de pedestres.

#### 2.4.1.4. Modelo configuracional

Essa abordagem foi inicialmente desenvolvida por Hillier e outros pesquisadores buscando encontrar as relações entre a sociedade e os padrões espaciais de assentamentos humanos. Partindo da afirmação que “as cidades são mecanismos para geração de um campo potencial de probabilísticos encontros sociais e co-presença” (Hillier, 1987), ou seja, não é o efeito da cidade, mas sim, o efeito social que potencializa o fluxo de pedestres.

A sintaxe espacial estabelece as relações entre a estrutura espacial e a lógica social do espaço. Assim, a predição do fluxo de pedestres não é o objetivo da sintaxe espacial em si, e sim entender a lógica morfológica que surge das malhas urbanas. O fluxo de pedestres, chamado por Hillier *et al.*, (1993) de movimento natural, é um “subproduto de um programa de pesquisa com objetivos diferentes”, mas descobrir essa relação demonstra, de certa maneira, que o movimento de pedestres pode ser fundamental para entender a configuração urbana. Através da teoria de sintaxe espacial, criou-se uma importante base computacional para o desenvolvimento dos estudos morfológicos urbanos. Ela fornece uma explicação ao comportamento humano e suas atividades sociais através dos padrões encontrados na configuração urbana (Jiang *et al.*, 2000).

Na literatura que trata desse assunto, o volume e a posição do fluxo de pedestres é relacionado com o layout da malha urbana. Descrições topológicas do sistema relacionam todas as posições do espaço em termos de hierarquia. A posição do pedestre no sistema é definida pelas quantidades de passos topológicos entre cada espaço e todos os demais (Hillier *et al.*, 1993; Hillier e Hanson, 1984; Hillier, 1996).

Esse tipo de representação adota a malha urbana como a primeira fonte geradora de movimento. Através da diferenciação existente entre as áreas urbanas, as atividades vão se posicionando no solo e modificando o arranjo das

edificações e do acesso a elas; como consequência, se desenvolvem áreas com diferentes potenciais de encontro de pedestre. As características do desenvolvimento dos espaços destinados aos pedestres podem ser observadas mais claramente através das descrições da estrutura espacial, como também, a estrutura espacial está diretamente associada às descrições econômicas (Zacharias, 2001).

Haklay (2001 p.6) não concorda com esse tipo de abordagem, pois, segundo ele, em muitas cidades a configuração urbana não muda e mesmo assim o uso do solo se transforma. Ele ainda afirma que esse ponto de vista é extremo, o qual é difícil de sustentar. No entanto, diversos autores têm achado correlações significativas entre a medida sintática de integração global e movimento de pedestres; embora, esse método não prediga o fluxo melhor que, por exemplo, os modelos gravitacionais, as aplicações da sintaxe são muito mais fáceis de serem utilizadas e no campo dos pedestres, estão apenas começando a ser implementadas (Jiang *et al.*, 2000). Zacharias (2001) cita que, na maioria dos estudos publicados, mais de 25% do volume de pedestres pôde ser explicado por uma abordagem topológica, mas ressalta que nem todo o movimento não explicado deve ser atribuído a fatores não espaciais, pois outros fatores espaciais devem explicar o fluxo, embora ainda não tenham sido capturados por essa abordagem.

Hillier *et al.*, (1987) descreveu que, nas 75 cidades estudadas nas redondezas de Londres, o grau de integração parecia estar correlacionado com as taxas de encontro, e o grau em que este encontro era previsível parecia ser a função de inteligibilidade do layout urbano dos padrões espaciais. Assim, em cada área de estudo onde a inteligibilidade era alta, os padrões de encontro são previsíveis a partir da integração, demonstrando altas correlações entre o fluxo de pedestres e a integração.

Jiang *et al.*, (2000) acreditam que a explicação da morfogênese dos padrões espaciais urbanos e suas implicações espaciais, através da sintaxe

espacial, podem prover uma visão alternativa e um modelo do espaço para representação de sistemas urbanos. O autor sustenta que através da sintaxe espacial e da observação empírica pode-se encontrar uma significativa correlação entre movimento de pedestres e a medida sintática de integração local.

Dos diversos estudos encontrados sobre este tema, as variáveis sintáticas são associadas ao fluxo de pedestres de várias maneiras. Um modelo que consiga associar as variáveis sintáticas, como um todo, e o fluxo de pedestres, poderá ter correlações maiores e apresentar um desempenho melhor do que aquelas que consideram somente algumas. Isso pode determinar que os padrões espaciais podem ser relacionados com o fluxo de pedestres de diferentes maneiras.

O método da sintaxe espacial não é somente uma ferramenta científica para explicar a relação entre a forma e a função do espaço. Ela fornece bases para estudos mais amplos relacionando a sociedade e os assentamentos urbanos.

#### 2.4.1.5. Modelo utilizando SIG e Autômato celular

Modelos que utilizam o SIG têm a vantagem de poder integrar várias bases de dados em uma só interface. A análise dos dados pode ser realizada a qualquer momento, com a possibilidade de separação dos dados através de filtros ou camadas. A visualização dos dados é obtida quase sempre em tempo real. Esses atributos produzem a grande capacidade do SIG no suporte dos estudos urbanos.

Amâncio e Sanches (2005) buscaram variáveis quantitativas do espaço urbano que incentivariam as caminhadas como modal de transporte. Segundo os autores, as variáveis selecionadas representariam os “aspectos da vida urbana” e seriam elas: variáveis relacionadas à densidade urbana, variáveis relacionadas à diversidade do uso do solo e variáveis relacionadas ao desenho de vias. Elas foram agrupadas em ambiente SIG e mediante seus índices foram qualificadas e

identificadas. Esse é um bom exemplo do uso de uma base teórica bem fundamentada para a criação de um modelo com o auxílio do SIG.

Nos modelos de pedestres que utilizam autômata celular, o espaço é representado como uma grade simétrica, formada por células em uma condição específica. Essas células passam de um estado para outro de acordo com regras próprias que determinam o comportamento do sistema. As regras processam o estado de cada célula como uma função de seu estado anterior e os estados das células vizinhas em uma abrangência programada. Cada célula do sistema influencia e é influenciada pelas demais. O objetivo deste tipo de modelo é simular ambientes dinâmicos, ou seja, que mudam através do tempo através de ciclos de interação (Dijkstra *et al.*, 2000; Klüpfel, 2003; Was, 2005).

Os modelos de pedestres que utilizam essa técnica apresentam a possibilidade de utilizar o comportamento individual de cada pedestre para simular o comportamento do fluxo como um todo. Como é simulado dinamicamente, o comportamento evidencia as trocas de estados das células do modelo, o que possibilita sua visualização em quadros de tempo.

Muitos modelos têm sido implementados a partir desse tipo de simulação, porém alguns resultados preliminares apontam a dificuldades na sua utilização, como o estabelecimento de regras de transição, restrição na velocidade dos agentes (que é limitada a uma célula por ciclo de tempo), a falta de detalhamento dos estados dos pedestres; e, por último, a limitação em representar os obstáculos do sistema que são compostos por células do mesmo tamanho que os pedestres e que em algumas situações deveriam ser menores (Was, 2005). As dificuldades encontradas por esse autor não invalidam o método, no entanto, deixam clara a necessidade de mais pesquisa nessa área.

Segundo Dijkstra (2000), técnicas de autômatas celular podem ser utilizadas em conjunto com multiagentes para desenvolver um modelo que simule melhor a maneira como os pedestres se locomovem em um ambiente. Os modelos de pedestres desenvolvidos utilizando multiagentes serão descritos a

seguir.

#### 2.4.1.6. Modelo de multiagentes

A abordagem através de multiagentes traz aos modelos de pedestres uma maneira nova de simulação entre a interação de pessoas, que não é alcançada através dos métodos tradicionais de modelagem (Teknomo e Gerilla, 2005). A diferença está na simulação individual de cada pedestre, que é capaz de se mover e interagir autonomamente com o meio em que estão inseridos e com os outros indivíduos, com a finalidade de cumprir o objetivo para que foi programado.

Essa técnica de modelagem surgiu nos anos 70, mas somente há pouco tempo conseguiu atingir seu potencial como ferramenta prática de aplicação. A unidade básica de atividade é o agente. Usualmente um modelo pode contar com vários agentes, seus resultados se dão através da interação entre eles (Hacklay, 2001). A simulação do comportamento dos agentes é muito complexa e envolve vários fatores. Alguns pesquisadores utilizam os parâmetros fornecidos pelo Highway Capacity Manual para definir as velocidades dos pedestres, outros utilizam simplesmente métodos de observação.

Segundo Batty (2001), modelos de multiagentes surgiram como uma ótima alternativa de modelagem espacial, com sua programação orientada a objetos onde os eventos e elementos podem ser tratados como classes onde seu comportamento pode ser simulado. As críticas aos modelos de multiagentes são feitas pela dificuldade de validar os dados obtidos através da comparação com a realidade, devido ao grande número de parâmetros que a torna muito difícil.

#### 2.4.2. Métodos escolhidos para análise do fluxo peatonal

Modelos de pedestres podem ser desenvolvidos em várias escalas, do microscópico, que descreve o movimento individual de cada pedestre, até o

macroscópico, que trata de multidões. Em todos eles deve-se levar em consideração os anseios dos pedestres e a necessidade humana de interação. Partindo desse ponto, os modelos podem ser usados como uma ferramenta de grande auxílio para planejamento urbano e regional.

Como existe uma grande variedade de diferentes tipos de modelos, trabalhando com as mais diversas teorias e abordagens, não existe uma maneira eficiente de comparação entre eles. Entretanto, do ponto de vista do planejamento, existe uma necessidade em visualizar os efeitos da mudança na cidade. O crescimento da cidade implica um rearranjo do uso do solo e conseqüentemente mudanças no fluxo de pedestres. A cidade segue a pressões e se modifica com elas. A regulamentação urbana pode causar efeitos diferentes daqueles esperados, inclusive, para os fluxos de pedestres. Por isso, os estudos que demonstram a influência do ambiente urbano como potencializador do fluxo de pedestres se fazem necessários.

Segundo Rodrigue (1997), muitos modelos adaptam teorias urbanas empíricas para se “enquadrar” a métodos matemáticos. Essa maneira de abordar a modelagem limita o uso da ferramenta para o planejamento pela demora considerável em calibrar o modelo. Além disso, muitos modelos são baseados em teorias não aplicáveis ao planejamento urbano. Segundo ele, a melhor maneira é adaptar os métodos matemáticos para os processos urbanos e suas relações dinâmicas.

O método de análise que buscamos nesta pesquisa, não é simplesmente aquele que prediga o fluxo de pedestres, mas sim, que forneça uma ferramenta para entender e discutir o fluxo a partir do pedestre, buscando propor cenários que possuam as características necessárias para a interpretação do fenômeno. As abordagens teóricas que serão utilizadas para desenvolver o modelo proposto nesta pesquisa utilizam a sintaxe espacial e as medidas de desempenho através de seus níveis de serviço. Elas foram escolhidas entre todas as outras por suas características se adequarem ao método de processamento dos dados e, muito

mais do que isso, por suas bases teóricas.

Segundo Batty (2001), hoje em dia existe conhecimento de modelagem suficiente para saber que a predição total de um evento humano é um mito. Assim, os modelos, mesmo não prevendo exatamente o que acontecerá em detrimento de certa decisão social e ao mesmo tempo espacial, possibilitam relacionar os acontecimentos a suas fontes causadoras.

## 2.5. SINTAXE ESPACIAL

A primeira vez que o termo “sintaxe espacial” aparece na literatura foi no artigo de Hillier *et al.*, de 1976, intitulado de *Space Syntax*. Ele abordava, entre outras coisas, questões de como e por que, diferentes tipos de sociedades criam ordens espaciais distintas. No entanto, somente em 1984, Bill Hillier e Julienne Hanson lançam o livro “The Social Logic of Space”, reunindo as bases teóricas e metodológicas empregadas na sintaxe espacial.

Segundo Rigatti (1997), a sintaxe espacial estuda a maneira como aspectos configuracionais do espaço urbano descrevem, dentre outras coisas, as relações entre as estruturas subentendidas das dimensões físicas do espaço em termos da construção de uma cultura espacial. Compreender a lógica do espaço é um modo de obter os indicadores dessa relação.

### 2.5.1. Lógica social do espaço

Do ponto de vista da complexidade da organização espacial humana, até as formas de arranjo mais particulares criadas pelo homem seguem as regras morfológicas. O homem trabalha com essas regras para adaptar o ambiente a seus propósitos, no entanto não as cria (Hillier e Hanson, 1984).

A descrição dos padrões físico-espaciais, desenvolvidos a partir dessas regras implícitas, não é realizada como propósito, mas em termos de limites morfológicos que a sociedade, como construtora do espaço, opera. Segundo

Hillier e Hanson, os padrões espaciais são baseados em duas premissas. A primeira é que a sociedade se organiza espacialmente estabelecendo padrões de relacionamento compostos, essencialmente, de várias formas de limites<sup>5</sup> e permeabilidade<sup>6</sup>. A segunda premissa é que, embora existam muitas possibilidades de arranjo das relações espaciais, não existem muitas possibilidades de princípios organizacionais para esses parâmetros. Assim, há finitas disposições de padrões na organização que impõem limites à geração espacial, mesmo nos padrões mais complexos.

Eles analisaram os padrões espaciais e buscaram construir uma sintaxe<sup>7</sup> aplicada na morfologia dos arranjos humanos, para avaliar as disposições das parcelas de um assentamento ou de uma edificação, ou seja, para as partes ou das partes para o todo. A sintaxe espacial, assim, pode examinar as minúcias das construções humanas e explorar possíveis significados. A questão de grande relevância é entender como os indivíduos constroem o espaço e se relacionam entre si, criando os padrões espaciais através das formas adotadas pelo espaço.

Hillier e Hanson (1984) afirmam que é possível construir um modelo que traduza as relações sociais utilizadas na criação do espaço através da análise desses padrões. Com isso, a sintaxe permite interpretar os atributos do espaço, a partir das definições dos assentamentos constituir-se basicamente por uma seqüência de espaços abertos, definido por uma seqüência de barreiras. As edificações e outras formas de restrição ao movimento formam estas barreiras, impedindo o livre movimento dos pedestres e conformando os espaços abertos.

Do estudo da morfologia urbana, pela sintaxe espacial, obtiveram-se respostas que não estavam entre os objetivos principais, como é o caso do fluxo

---

5 Limites são caracterizados pelas barreiras que impedem o livre deslocamento dos pedestres no sistema.

6 Permeabilidade é descrita na sintaxe espacial como a interface entre a parte aberta (pública) e as edificações (privada).

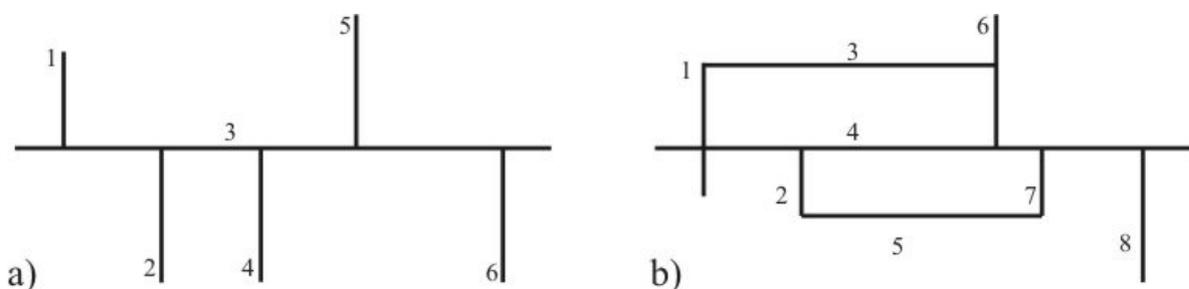
7 Sintaxe na língua portuguesa refere-se a parte da gramática que estuda a disposição das palavras na frase e a das frases no discurso, bem como, a relação lógica das frases entre si (Rigatti, 1997).

de pedestres, definida por Hillier *et al.*, (1993) de movimento natural, por ser o deslocamento potencializado pela malha urbana. Assim, a sintaxe espacial passou a estudar também o movimento influenciado pela configuração urbana, ou seja, a importância que a configuração tem no encontro de pedestres.

### 2.5.2. Movimento Natural

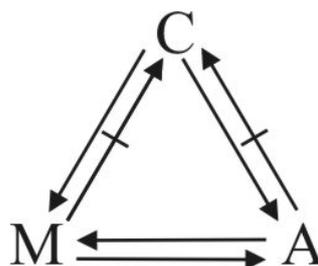
Ao estudar os métodos quantitativos que visam à predição do fluxo de pedestres, Hillier *et al.*, (1993) descobriram que muitos deles eram simplesmente adaptações de modelos empregados em estudos veiculares. O que ficava implícito nessas teorias é que a movimentação das pessoas estava somente ligada à atração exercida pelos atratores, ou seja, a população se deslocaria simplesmente para entrar nas edificações. Essa espécie de teoria parece desconsiderar quase totalmente a configuração urbana.

Entretanto, as edificações são localizadas em assentamentos humanos. Isso constitui um fato óbvio, em se tratando de uma cidade. No entanto, qualquer que seja o assentamento, ele terá um padrão configuracional em sua malha que, independentemente de seus atratores, exercerá influência e também restrição à movimentação das pessoas. Na figura abaixo, uma adaptação de Hillier *et al.*, (1993) demonstra como a malha urbana pode induzir e ao mesmo tempo restringir o movimento:



**Figura 2 - Representação dos espaços abertos. a) Existe uma restrição de movimentação da malha, induzindo que as viagens passem obrigatoriamente pelo segmento 3. b) Neste exemplo existem alternativas que podem ser utilizadas pelo pedestre. Fonte: adaptado de Hillier *et al.*, (1993).**

Hillier *et al* (1993) partiram destas constatações para formular a teoria do movimento natural. Nela a configuração urbana atua como o primeiro gerador dos padrões de movimento. Os atratores regulam os padrões da configuração funcionando como multiplicadores. O efeito dos atratores potencializa de tal forma a malha que pode chegar a ultrapassar os padrões de movimento, gerados pela configuração urbana. A presença de atratores pode influenciar a presença de pessoas, mas não o sistema configuracional. Assim, os atratores pode afetar o movimento de pessoas, mas não os parâmetros configuracionais, que não são afetados pelo fluxo de pedestres. O fluxo de pedestres é afetado pelos atratores e pelo sistema configuracional do espaço. Desta feita, um fluxo de pessoas maior em uma via pode potencializar a implantação de certos atratores que dependam da exposição direta do produto (Helbing, 1998; Kurose, 1995).



**Figura 3 - Geração do movimento natural. 'C' é a configuração, 'M' o movimento e 'A' os atratores. Fonte: adaptado de Hillier *et al.*, (1994).**

O movimento natural é o fluxo de pedestres gerado pela configuração urbana. As malhas urbanas parecem ser estruturadas para criar campos potenciais de encontro de pessoas. Isso se deve ao movimento natural ser um fenômeno cultural que assume diferentes formas nos diferentes tipos de grupos culturais. O grupo cultural se reflete em sua dimensão espacial, ou seja, a cidade que assume a forma necessária para potencializar interfaces prováveis de encontros entre seus membros, entre os habitantes e destes com os estrangeiros. O que é invariante no movimento natural é a lógica que liga a configuração espacial e o movimento de pedestres.

O elemento chave do movimento natural são os padrões globais da

configuração apresentados pelas variáveis do sistema que relacionam cada elemento do sistema com todos os demais. O segundo elemento que influencia o movimento natural são as propriedades locais. Estas propriedades estabelecem as relações entre cada espaço e sua vizinhança, ou também, da vizinhança com as suas vizinhanças. Para encontrar o movimento natural na malha urbana devemos descobrir as medidas sintáticas do sistema.

### 2.5.3. Medidas Sintáticas

Existem várias técnicas para analisar *layouts* espaciais utilizando a sintaxe espacial. Algumas dessas, resultam em variáveis numéricas e, assim, quantificáveis, enquanto outras só podem ser tratadas de um ponto de vista qualitativo. Assim, cabe ao pesquisador avaliar as metodologias existentes, a fim de encontrar qual delas responderá melhor a seus questionamentos. Segundo Hillier *et al.*, (1999), a representação através do mapa axial tem mostrado um desempenho melhor do que outros métodos de sintaxe espacial em modelos de predição de pedestres.

No método utilizado, o espaço urbano é simplificado através de espaços convexos e linhas axiais. Segundo Holanda (2002), espaços convexos correspondem ao que podemos entender por um lugar em pequena escala, um espaço aberto, como uma rua ou uma praça. A convexidade do espaço existe quando podemos traçar linhas retas, de qualquer ponto desse espaço a qualquer outro, sem que ela passe pelos limites externo do espaço convexo. A partir do mapa com os espaços convexos é traçado o mapa axial.

O mapa axial é desenhado com a menor quantidade, das maiores linhas retas possíveis de serem traçadas atravessando o maior número de espaços convexos. São importantes por fazer uma simplificação da realidade e por avaliar o espaço urbano como um conjunto, a partir de uma visão topológica. Depois de desenhado, o mapa axial é processado e transformado em uma matriz de

representação onde cada linha possui um número. Cada cruzamento entre as linhas é compilado e essas conexões descrevem as relações entre elas.

Ao ser analisado sintaticamente, o mapa axial apresenta dois tipos de dados, os dados alfanuméricos e o dados em forma de gráficos (Hillier, 1993). Os dados alfanuméricos são obtidos através de matrizes de linhas numeradas e os parâmetros espaciais incluídos em cada uma delas. Já os dados em forma de gráficos são obtidos em forma de mapas nucleados, com sua cor resultante conforme o valor de seus parâmetros.

Muitas são as medidas que podem ser obtidas com a análise dos padrões morfológicos da malha urbana, através da sintaxe espacial. Contudo, como esta pesquisa procura comparar padrões espaciais de uma cidade, ou mais especificamente falando, de uma parte dela, foram escolhidas algumas dessas variáveis quantitativas, pois podem ser facilmente comparadas entre si. Desse modo, uma via pode ter seus atributos espaciais medidos e relacionados com as demais, tanto em sua organização global quanto local.

Segundo Holanda (2002), o espaço pode ser decomposto tanto globalmente, quanto localmente. A concepção arquitetônica do espaço beneficia diferentemente o morador e o visitante<sup>8</sup>. A organização global do sistema regula o domínio do visitante e, segundo Rigatti (1997), pode ser examinada através das características da axialidade do assentamento. A maior axialidade da trama é a responsável pelo maior número de encontros potencializado pela malha urbana. Por outro lado, a organização local determina o domínio do morador, pois mantém com o espaço uma relação mais estática através da organização convexa, nas quais o habitante possui maior controle potencial da interface com visitantes (Hillier, 1984).

---

<sup>8</sup> Morador e visitante, em sintaxe espacial, têm um sentido mais amplo do que simplesmente caracterizar a pessoa que reside em uma área e aquela que está somente de passagem. O termo “moradores” se refere às pessoas que têm uma experiência cotidiana em um espaço. Assim como, visitantes ou estranhos, são todas as pessoas que não possuem vínculo com o espaço e estão ali de por um curto período de tempo.

Da análise sintática através do mapa axial e, também, do espaço urbano foram extraídas variáveis que relacionam numericamente o espaço urbano entre si. As variáveis utilizadas nesta pesquisa serão apresentadas a seguir.

### 2.5.3.1. Integração global

É a propriedade mais importante da sintaxe espacial e relaciona cada espaço do sistema com todos os demais. De natureza topológica, indica o menor ou maior nível de integração entre as partes do sistema e é obtida através do mapa axial de um assentamento. O conceito de integração está vinculado à noção de quão profunda uma linha está de todas as demais, em passos topológicos. Pois, segundo Rigatti (1997), quando o espaço é representado axialmente, cada linha se liga a todas as demais, seja diretamente ou por meio da sua conexão com outras linhas. Segundo Hillier (1984), a relação de profundidade envolve a noção de assimetria do espaço, visto que ele só pode ser mais profundo ou raso se o sistema possuir espaços intermédios entre a origem e o destino. A integração global (*IG*) é o inverso da *Relativa Assimetria Real (RRA)*, ou seja (Equação 1):

$$IG = \frac{1}{RRA} \quad (1)$$

(fonte: Hillier, 1993)

A utilização da integração global (*IG*) é preferível ao invés da *RRA*, pois seus valores podem ser interpretados diretamente; assim, valores altos de integração global determinam um espaço bem integrado, enquanto os valores baixos, espaços mais segregados. A *Relativa Assimetria Real* é definida pela expressão (Equação 2):

$$RRA = \frac{RA}{Dk} \quad (2)$$

(fonte: Hillier e Hanson, 1984)

A *RRA* foi desenvolvida para poder comparar sistemas urbanos com diferentes números de linhas, onde a *Assimetria Relativa (RA)* é dividida pelo

coeficiente ( $Dk$ ) que representa a quantidade de linhas do sistema analisado. A  $RA$  é a medida sintática que permite hierarquizar uma linha axial, quanto à sua tendência à integração ou segregação, em relação às outras linhas do mesmo sistema. A expressão da  $RA$  (Equação 3) é:

$$RA = \frac{2(Pm - 1)}{L - 2} \quad (3)$$

(fonte: Hillier e Hanson, 1984)

Nessa expressão, a variável  $Pm$  indica a profundidade média de uma linha para todas as demais do mesmo sistema e  $L$ , a quantidade de linhas do sistema. Como a  $IG$  mede o grau de integração e segregação de uma linha relacionando-a com todas as outras no sistema é entendida como uma medida de caráter global (Hillier *et al.*, 1993; Holanda, 2002; Rigatti, 1997).

Segundo Hillier (1988), existe uma associação empírica acertando que: quanto mais profundo o sistema (maior segregação), maior será a dificuldade de apropriação do espaço pelo pedestre, principalmente pelo visitante, que caracterizam a maioria das pessoas circulando pelos espaços públicos.

#### 2.5.3.2. Integração local

Esta medida sintática é obtida a partir do mapa axial e identifica o grau de integração de uma linha com todas as demais do sistema, até um raio de abrangência especificado. A integração local ( $IL$ ) é igual à profundidade média  $d_n^{mean}$  no raio  $n$ , de acordo com a fórmula abaixo (Equação 4):

$$IL = d_n^{mean} = \frac{\sum_{r=0}^n kd}{\sum_{r=0}^n k} \quad (4)$$

(fonte: Penn *et al.*, 1998)

onde  $k$  é o número de nodos na profundidade  $d$ . Ou seja, o  $\sum_{r=0}^n kd$  é o número total de linhas axiais alcançáveis a um raio limite de profundidade, e,  $\sum_{r=0}^n k$  é o número total normalizado de linhas alcançáveis com todas as linhas do sistema

(Silva, 2004).

A integração local cria uma espécie de limite no espaço analisado, fazendo com que as linhas possam ser avaliadas em um nível local, mas, demonstrando o quanto cada parte do assentamento contribui para a dinâmica da vizinhança.

#### 2.5.3.3. Conectividade

Refere-se à quantidade de linhas diretamente conectadas a uma linha qualquer. Esta é uma propriedade local que mostra o grau de vínculo de uma linha com as linhas que se conectam a ela (Hillier, 1993).

#### 2.5.3.4. Controle

Mede o grau com que a linha exerce controle nas linhas vizinhas. Por exemplo: se uma linha é somente conectada a uma outra, esta adquire o valor de 1, se é conectada a duas linhas cada uma delas adquire a metade do valor de controle, ou seja,  $\frac{1}{2}$  e assim por diante. As linhas axiais que tiverem o valor de controle mais próximo de 1, têm grande controle sobre as outras linhas, enquanto as que possuem o controle menor têm o valor mais próximo de zero (Hillier, 1993).

#### 2.5.3.5. Profundidade

É o valor médio de passos topológicos mínimos necessários de uma linha para que esta possa atingir todas as outras do sistema. Assim, a fórmula (Equação 7) definiu como Profundidade ( $PM$ ):

$$PM = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ij}}{n-1} \quad (7)$$

(fonte: Jiang *et al.*, 2000)

onde  $d_{ij}$  é a distância topológica mais curta entre dois pontos  $i$  e  $j$ , a profundidade total do nodo  $i$  é a soma da distância, onde  $n$  é o número de linhas de todo o mapa axial.

#### 2.5.3.6. Constituições

O sistema de espaços públicos é carregado de pessoas de duas maneiras: pelas transições com o espaço privado e a partir das interfaces dos espaços convexos entre si. O arranjo entre os espaços convexos e entradas das edificações controlam o acesso ao movimento e determinam a ligação aos espaços fora das edificações.

A sintaxe espacial dá o nome de constituição para estas transições entre os espaços. Elas funcionam como a ligação entre a parte pública do sistema urbano (como vias e espaços públicos abertos) e a privada (como as edificações). Com isso, temos um potencial de pedestres que é dado a uma via devido a sua maior ou menor permeabilidade. No entanto, existem espaços convexos “cegos”, que não possuem aberturas de qualquer tipo que levem ao interior dos terrenos ou das edificações. Segundo Holanda (2002), o número médio de entradas por espaço convexo resulta no grau de “constitutividade”, que é maior em assentamentos urbanos tradicionais e muito menor em assentamentos com formas modernas.

#### 2.5.3.7. Atratores

Quando Hillier (1993) analisou a movimentação de pedestres nos centros urbanos e definiu a configuração urbana como a primeira fonte geradora de movimento, também indicou a importância dos atratores (parte não pública do sistema formado pelas edificações) como reguladores dos padrões da configuração, funcionando, muitas vezes, como multiplicadores.

Deste modo, os atratores integram o sistema urbano como a parte

privada, formado pelas edificações que contornam o espaço público. Segundo Holanda (2002), os atratores são feitos de diferentes tipos de usos do solo, mas não são somente isso, pois representam também a materialização espacial das categorias sociais das atividades. Assim, podem ocorrer no mesmo lote vários tipos de usos do solo e, ainda, eles podem apresentar sua ligação com a calçada de maneira direta ou através de uma circulação em comum. Nas edificações em altura existem circulações verticais, ligando estes atratores com a rua ou com outra interface ligada a ela.

Segundo Holanda (2002), não existe uma classificação sintática dos usos do solo, ou atividades. Desse modo, o impacto local causado pelas diversas atividades não foi vinculado diretamente com a co-presença. Este trabalho pretende lançar algumas idéias nesta área, como será demonstrado na seqüência.

De uma maneira geral, a sintaxe espacial considera o espaço urbano como a relação das partes do sistema com um todo. Assim, é possível modificar para melhor os padrões e criar uma dinâmica mais adequada à população. Simulações de organizações espaciais podem ser propostas de maneira a criar alternativas ao espaço real, permitindo uma análise antecipada dos efeitos sobre o sistema e, mais especificamente para esta pesquisa, para o fluxo de pedestres.

Neste trabalho, a sintaxe espacial contribuirá para determinar a parte do fluxo de pedestres que pode ser explicado pelas características configuracionais do sistema.

## 2.6. NÍVEIS DE SERVIÇO E MEDIDAS DE DESEMPENHO

Recentemente, para solucionar problemas como qualidade do ar, congestionamentos e qualidade de vida nas grandes cidades, o planejamento de transportes começou a enfatizar abordagens multimodais. Segundo Landis *et al.*, (2001), comparada com a quantidade de pesquisa realizada para os veículos automotores, o tipo de abordagem multimodal possui pouco estudo.

A relação entre o pedestre e seu meio ambiente, as calçadas e as ruas, é vital para a circulação, e avaliar suas condições é muito mais complexo em comparação aos veículos automotores. Diferentemente deles, o pedestre não está isolado na via e está sujeito à influência de muitos fatores externos que condicionam seu deslocamento. Diferente de outros meios de transporte, uma via para pedestres deve ser projetada para suprir as necessidades dos indivíduos com menores habilidades, como idosos, crianças e portadores de necessidades especiais, pois assim, são adequadas a toda população (Dixon, 1996).

Dan Burden (2001) trabalha em transformar as cidades, tornando-as mais habitáveis e acessíveis a pé. Ele afirma que múltiplos fatores afetam o pedestre e definiu-os em capacidade da calçada, qualidade do ambiente para pedestres e percepção de segurança com respeito aos veículos automotores. Essa breve definição dos tipos de avaliação dos passeios leva em conta os esforços feitos por vários pesquisadores desde a década de 1970, e serão apresentados a seguir.

#### 2.6.1. Capacidade da calçada

A primeira tentativa de avaliar as características dos passeios partiu de Fruin (1971). Ele adaptou o termo “nível de serviço” (NS) utilizado inicialmente pelo *Highway Capacity Manual* (HCM) de 1965, que tratava exclusivamente da avaliação de vias para tráfego de veículos. O HCM de 1965 definia o nível de serviço através da avaliação das vias de tráfego, classificando-as de ‘A’ a ‘F’, sendo ‘A’ a melhor avaliação, representando um trânsito desimpedido, e ‘F’ a pior, com uma densidade crítica de veículos.

Como o NS tornou-se uma ferramenta adequada para avaliação do tráfego de veículos, não foi surpreendente sua adoção por parte dos urbanistas e pesquisadores do fluxo de pedestres (Khisty, 1994). No entanto, a adaptação feita por Fruin (1971), para aplicação do NS em vias de pedestres, tratou somente da

relação entre a velocidade de locomoção, a habilidade de ultrapassar outros pedestres mais lentos e de se mover cruzando vários grupos de pedestres (Araújo, 1998), ou seja, ele aplicou uma analogia do movimento dos veículos automotores ao caso dos pedestres. Posteriormente, com base nos estudos de Fruin, o HCM de 1985 lança diretrizes para o desenho de calçadas, cruzamentos e esquinas utilizando o conceito de NS.

As relações entre densidade e fluxo de pedestres contida no HCM (2000) são similares à dos veículos, obtida pela formulação abaixo (Equação 8):

$$F_{ped} = V_{ped} * D_{ped} \quad (8)$$

(fonte: Highway capacity manual, 2000)

onde,  $F_{ped}$  é a unidade de taxa de fluxo (pedestres/mim/m),  $V_{ped}$  é a velocidade do pedestre (m/mim), e  $D_{ped}$  é a densidade de pedestres (pedestres/m<sup>2</sup>). Como alternativa para encontrar o fluxo de pedestres existe outra fórmula que relaciona a densidade e o espaço (Equação 9):

$$F_{ped} = \frac{V_{ped}}{M} \quad (9)$$

(fonte: Highway capacity manual, 2000)

onde,  $M$  é o espaço do pedestre (m<sup>2</sup>/pedestre). Com essas relações matemáticas, fica perceptível que tratar da calçada como espaço do pedestre sem utilizar suas componentes físicas, como a largura e o comprimento, é certamente inadequado, do ponto de vista desta metodologia.

O HCM de 1985 já deixou claro que as vias para pedestres são muito mais complexas que as destinadas a veículos automotores. E passou a sugerir que fosse utilizada juntamente alguma abordagem qualitativa para a avaliação dos passeios, embora não expressada como deveria ser feita. Esta afirmação partiu da diferença entre motoristas e pedestres, ou seja, o motorista está sentado

confortavelmente num ambiente protegido e controlável, enquanto os pedestres estão expostos a todos os tipos de variações do ambiente.

### 2.6.2. Qualidade do ambiente

Dixon (1996) propôs um critério de nível de serviço para as calçadas que envolve a presença de facilidades básicas, conflitos, habilidades, NS dos veículos, manutenção e gerenciamento na demanda de transporte e presença de multimodal. As notas são dadas devido às características das calçadas e então, multiplicados por pesos estabelecidos de acordo com a importância da variável. Esse tipo de avaliação é sempre realizado por técnicos, sem considerar a opinião do usuário (Ferreira e Sanches, 2001). No entanto, existem outros trabalhos que consideram a percepção do ponto de vista do pedestre para sua análise.

As medidas de desempenho (MDs) foram criadas para avaliar qualitativamente os espaços urbanos destinados a pedestres, analisando a relação entre os fatores do ambiente. Somente em 1994 que Khisty desenvolve as medidas de desempenho do nível de serviço para pedestres, uma maneira qualitativa de avaliar os espaços destinados a pedestres.

Khisty (1994) apresenta em sua metodologia medidas de desempenho derivadas de estudos de engenharia de tráfego e de psicologia ambiental. Primeiramente foram selecionadas 20 MDs, mas foram reduzidas para 7 por haver duplicidade ou pouca relevância nas informações contidas ou, ainda, por viabilidade de dados. A seguir são apresentadas as características utilizadas por Khisty (1994):

1. Atratividade - Esta MD engloba muito mais que fatores estéticos. Ela considera atributos como satisfação, prazer, interesse e exploração.
2. Conforto - Fatores como proteção contra intempéries, controle climático, abrigos devidamente projetados, condições da superfície, etc. Outras características como odor, ventilação, ruído, vibração e densidade de

pessoas também podem ser incorporadas a esta MD.

3. Conveniência – As distâncias a caminhar, conectadas com os atributos como direção do caminho, existência e localizações de rebaixamento do meio-fio, direção das sinalizações, existência de mapas de atividades, conexões convenientes entre locais freqüentemente usados e outras características que tornam o ato de caminhar fácil e descomplicado. As obstruções nas calçadas são consideradas uma fonte de inconveniência para os pedestres. As rampas nas esquinas destinadas a portadores de necessidades especiais e, também, pisos táteis são considerados nesta MD.
4. Segurança – A redução de conflitos entre pedestres e veículos pode ser considerado como fator básico na promoção de segurança. A facilidade de se locomover, mesmo em área livre de carros, como galerias, shoppings, entre outros, é considerado como sendo parte da segurança. Particularmente em ruas com trânsito muito intenso, fornecimento de recursos de controle bem projetados, fornecendo tempo e separação adequada dos veículos, é uma parte essencial da segurança.
5. Segurança pública – A habilidade de suprir aos pedestres facilidades, tanto para o público em geral quanto para a polícia através de linhas desobstruídas de visão, boa iluminação, ausência de áreas obstruídas e vigilância através de circuito fechado de tv, são consideradas medidas de bom desempenho. O pedestre deve sentir-se razoavelmente a salvo e seguro, juntamente com a vizinhança pelo nível de atividade nas ruas.
6. Coerência do sistema – Imagem mental e seletividade desempenham um importante papel na percepção e entendimento do espaço. Entretanto, um pedestre não familiarizado com o local dará mais importância à orientação e direção a ser tomada do que aos fatores estéticos do entorno. Existe uma forte correlação entre as atividades presentes no local e as imagens cognitivas do lugar. Até as noções de distância podem ser afetadas pela geometria dos caminhos.

7. Continuidade do sistema – Um sistema de circulação de pedestres bem projetado pode possuir todos os atributos mencionados nas MDs anteriores, mas falta uma característica essencial de continuidade e de conectividade. Continuidade é particularmente importante em sistemas multimodais, conectando os caminhos de pedestres e unificando o sistema mais eficientemente.

São atribuídas notas de ‘A’ a ‘F’ para cada uma das sete medidas de desempenho por passeio. O peso de cada uma delas é fornecido pelos próprios usuários do ambiente pesquisado quando respondem a um questionário onde avaliam as variáveis duas a duas (avaliação par-a-par), distribuindo uma nota entre as duas variáveis por vez. Com as notas são encontrados os pesos que serão atribuídos a cada uma das variáveis, através de processos estatísticos, com a soma de todas as variáveis sendo equivalente a um. Assim, ao avaliar cada uma das MDs e aplicar o método obtém-se uma nota de 0 a 5, que determina os níveis de serviço de ‘A’ a ‘F’, atribuindo o nível de serviço da qualidade do passeio.

Ferreira e Sanches (2001) aplicaram uma metodologia similar à de Khisty (1994) para determinar o índice de qualidade das calçadas, desenvolvido em três etapas. Na primeira, foi feita uma avaliação técnica das calçadas com base em indicadores de qualidade com pontuação de 5 a 0 (‘A’ a ‘F’). Foram escolhidos cinco indicadores de qualidade: Segurança – possibilidade de conflitos entre veículos e pedestres; Manutenção – qualidade do piso; Largura efetiva – largura suficiente para o deslocamento de pedestres; Seguridade – nível de segurança pública da área; e Atratividade visual – aspectos visuais e estéticos do entorno. Na segunda, foram ponderados os indicadores da primeira de acordo com a percepção do usuário através de questionários. E por fim, foi realizada a avaliação dos espaços de pedestres.

Este estudo, comparado com o de Khisty, é importante pelas demonstrações de adaptabilidade possíveis, sem com isso reverter à conceituação

do tema. Segundo Khisty (1994), as duas metodologias, a quantitativa e a qualitativa, dos níveis de serviço se complementam.

### 2.6.3. Percepção de conforto e segurança

A definição dos níveis em que o pedestre se sente seguro e confortável para caminhar foi trabalhado por Landis *et al.*, (2001), através dos níveis de serviço dos passeios. Ele procurou entender como os pedestres definem se uma calçada é adequada ou não. Segundo Landis *et al.*, (2001), expressões do tipo “este é um local perigoso para caminhar” ou “este local é suficientemente seguro e confortável” são o modo dos pedestres julgarem o conforto e segurança de uma calçada.

Landis *et al.*, (2001) criou um projeto onde as variáveis do nível de serviço foram obtidas para um percurso de aproximadamente duas horas, que passava por vários tipos de usos do solo e de padrões de ruas. Esse projeto contou com o apoio governamental e teve a participação de 75 pedestres, que saíram 1 a cada minuto de lados opostos do percurso e mantendo um ritmo de caminhada pré-estabelecido. Seus participantes foram instruídos a desconsiderar a estética do entorno e considerar somente os aspectos da via em que estavam andando, ou seja, as condições de qualidade, dando notas de ‘A’ a ‘F’ enquanto andavam por cada segmento (Landis *et al.*, 2001).

Com esse método, o pesquisador conseguiu entender como o pedestre se sente (in)seguro e (des)confortável ao se deslocar em uma rua, podendo identificar essas variáveis e correlacioná-las com o passeio.

### 2.6.4. Aplicação do conceito de nível de serviço

Para aplicar os níveis de serviço a este trabalho, foram adaptadas as metodologias do HCM (2000) e de Khisty (1994), definindo como complementares, tanto os atributos quantitativos, como os qualitativos do

passeio, juntamente com o conceito desenvolvido por Landis *et al.* (2001) de que os pedestres preferem fazer rotas passando pelas calçadas que considerem mais seguras e confortáveis para se locomover. Segundo Dixon (1996), um grande número de variáveis podem estar presentes para atrair as viagens não-motorizadas e sua valoração pode influir na propensão de pedestres que utilizam a calçada. Assim, ao conhecer as variáveis que influem nos deslocamentos dos pedestres e quanto cada uma delas age, existe a possibilidade de predição do fluxo.

No entanto, foi necessário fazer algumas adaptações metodológicas nas medidas de desempenho, devido à particularidade do método escolhido para análise dos dados. Foram adequadas duas medidas quantitativas, que relacionam o espaço propriamente dito do passeio, e cinco medidas qualitativas de desempenho, estas contando com três atributos cada uma, para melhor valorar o desempenho da via. Elas serão descritas detalhadamente a seguir.

#### 2.6.4.1. Comprimento e Largura da via

A grande dificuldade existente ao comparar as vias peatonais é que elas dificilmente possuem as mesmas características físicas. Se a diferença consistir simplesmente em suas características qualitativas, não há necessidade de adequação dos dados, pois eles se referem a um atributo com as mesmas definições. No entanto, ao comparar vias que possuem larguras e comprimentos diferentes, existe a necessidade de uma normalização desses atributos entre elas.

#### 2.6.4.2. Atratividade

Essa medida de desempenho qualitativa refere-se às características do espaço em que a calçada está inserida, que podem influenciar o pedestre a utilizar esse ambiente. Khisty (1994) argumenta que se deve considerar no espaço mais que aspectos simplesmente instrumentais, como conforto e segurança, mas os

atributos que caracterizem as propriedades latentes do espaço, como prazer, satisfação, entre outras.

Segundo Ferreira e Sanches (2001), a atratividade refere-se aos espaços públicos que tiveram intervenção projetual para qualificar o passeio, criando espaços destinados à vivência que sejam agradáveis e que considerem a relação da edificação no entorno. Assim, as calçadas são classificadas, por exemplo, como ‘A’, quando são ao lado de parques, praças, etc., e por outro lado recebem uma nota ‘F’, quando o espaço é desagradável ao pedestre, com construções abandonadas, sem entradas, etc.

Neste trabalho foram aplicadas as denominações utilizadas por Khisty (1994) e Ferreira e Sanches (2001), e a MD atratividade foi desmembrada em três atributos: características visuais do espaço adjacentes às calçadas, características sociais do espaço e características visuais do entorno. O primeiro, características visuais do espaço, refere-se às qualidades do passeio quanto à sensação de agradabilidade, geralmente causadas por fatores estéticos visuais. A segunda, características sociais do espaço, faz alusão aos espaços que possuem locais próprios para interação dos pedestres, sendo um exemplo disso os bancos, fontes, floreiras, etc., colocados nas calçadas. A terceira, características visuais do entorno; leva em conta o quão potencializadora é a estética do entorno, por exemplo, um passeio ao lado de uma praça bem cuidada é mais atrativo que ao lado de um terreno baldio, ou, uma calçada ao lado de um comércio com vitrinas interessantes possui um potencial maior que um mesmo comércio com as paredes exteriores “cegas”.

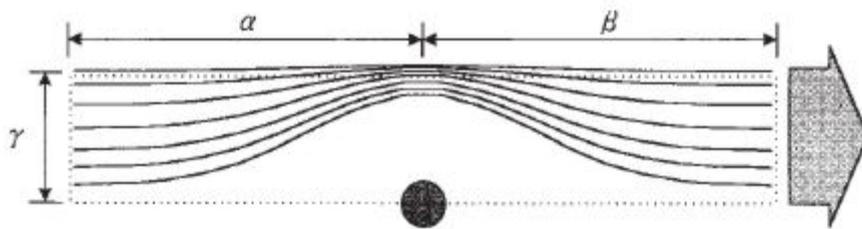
#### 2.6.4.3. Conforto

A MD conforto, segundo Khisty (1994), refere-se basicamente às características do passeio que protegem o pedestre das variáveis climáticas, como temperatura, precipitação pluviométrica, entre outros. No Brasil, não é comum se

encontrar passeios totalmente protegidos das intempéries e que sejam públicos, como caracterizados anteriormente na metodologia. Ferreira e Sanches (2001) não possuem esta MD, no entanto, a adaptaram para a MD largura efetiva. Nela os autores aplicam o conforto ao conceito de andar livremente por um passeio, sem a interferência de mobiliário urbano ou propagandas que ocupam a via.

A adoção da MD conforto neste trabalho se baseou na idéia de Ferreira e Sanches (2001), por ser mais aplicável à realidade de nossas cidades. No entanto, os três atributos que constituem esta MD foram definidos como características da faixa de circulação de pedestres, características de acesso a portadores de necessidades físico-motoras e características da disposição do mobiliário urbano.

O primeiro atributo - características da faixa de circulação de pedestres - analisa a largura útil da faixa de pedestres. Ao contrário da largura total do passeio, esse atributo se refere somente ao espaço utilizado para a circulação. Segundo o HCM de 2000, é a porção efetiva do passeio que pode ser utilizada pelos pedestres subtraindo-se o espaço obstruído e seu raio de interferência que faz o pedestre se afastar e desviar. Raio de interferência é a noção que os obstáculos dispostos no passeio têm um raio de abrangência de efeito, isto é, a parte do passeio livre, que, no entanto, não será utilizado pelo pedestre. Segundo Kwon *et al.*, (1998), os obstáculos dispostos nas calçadas causam aos pedestres uma repulsão até atingir uma distância segura. Seus efeitos podem ser expressos como  $\alpha$  - ponto de saída da mudança de direção,  $\beta$  - ponto final da influência na trajetória para os pedestres e  $\gamma$  - a distância lateral dos obstáculos do fluxo de pedestres, conforme apresentado nas dimensões da Figura (4) a seguir. Segundo a NBR 9050 (2004), a largura da faixa livre de obstáculos deve ser de no mínimo 1,5 metros.



**Figura 4 - Efeito de um obstáculo no fluxo de pedestres. Fonte: adaptado de Kwon *et al.*, (1998).**

O segundo atributo, características de acesso a portadores de necessidades físico-motoras, refere-se à necessidade dos pedestres com restrição de movimento, bem como à de outros pedestres quanto a uma calçada livre de desníveis. Segundo a NBR 9050 (2004), o desnível máximo na faixa livre de circulação deve ser de 1,5 cm, assim, as calçadas asseguram mobilidade a todos os usuários, proporcionando uma rota acessível e segura, sendo acessíveis e não causando exclusão, ou constrangimentos aos cidadãos, principalmente aos que possuem alguma necessidade especial (APABB, 1996; PCD, 2004). Este atributo é considerado por Khisty (1994) como a MD conveniência.

O terceiro atributo, características da disposição do mobiliário urbano, avalia a obstrução do mobiliário na circulação. Segundo Silva (2004), a disposição inadequada do mobiliário urbano é um dos elementos mais problemáticos das calçadas, causando muito desconforto aos pedestres e obstruindo o seu fluxo. Eles devem estar dispostos de modo a não diminuir a capacidade dos passeios.

#### 2.6.4.4. Manutenção

As condições da superfície são abordadas por Khisty (1994) na MD conforto. No entanto, esta característica do passeio é muito importante e também é responsável por condicionar o fluxo de pedestres. Devido a sua importância, Ferreira e Sanches (2001) criaram uma MD especialmente para avaliar estas características do passeio. Nessa presente pesquisa, a MD manutenção foi dividida em três atributos, são eles: características da adequação do tipo de pavimentação

à via, características da condição física da pavimentação e características da limpeza da via.

No primeiro atributo, características da adequação do tipo de pavimentação à via, são abordados, de maneira técnica, o modo com que o pavimento da calçada é adequado à circulação de pedestres. Os pavimentos urbanos podem ser especiais para as calçadas, e, segundo a NBR 9050 (2004), eles devem possuir elementos táteis para os portadores de necessidades especiais se orientarem. Outros tipos de pavimentação são adequados às vias mas não possuem características especiais. No entanto, existem calçadas com pavimentos inadequados que quando molhados se tornam escorregadios para os pedestres. No caso extremo, existem calçadas que não apresentam nenhum tipo de pavimentação.

Como segundo atributo desta MD, características da condição física da pavimentação, são avaliadas as condições de conservação da pavimentação. Calçadas em ótimas condições permitem ao pedestre maior conforto e segurança, enquanto que as em péssimas condições podem inviabilizar o seu trânsito.

No terceiro atributo, características da limpeza da via, é observada a existência de entulho sobre as calçadas. A sujeira pode afastar os pedestres e, em certos casos, é capaz de obstruir de tal forma a calçada que torne o seu uso impossível. De forma reducionista, pode ser obtido através desses atributos o nível de manutenção apresentado pela via.

#### 2.6.4.5. Segurança

Essa MD visa avaliar as possibilidades de conflito entre pedestres e outros modos de deslocamento, principalmente os veículos automotores. As áreas restritas aos pedestres definem o máximo de segurança possível desta MD (Ferreira e Sanches, 2001). Recursos de controle, como faixa de segurança e semáforos, podem fornecer tempo de travessia aos pedestres entre os passeios e

ajudar na separação dos outros modos de transporte, sendo essencial à segurança. Por esse motivo, essa MD foi dividida nos seguintes atributos: possibilidade de conflito entre pedestres e veículos, características das passagens para outras calçadas – faixa de segurança e semáforos.

Segundo Landis *et al.*, (2001), a maior separação entre os veículos e os pedestres cria no pedestre uma maior sensação de segurança. No primeiro atributo, possibilidade de conflito entre pedestres e veículos, são avaliados os passeios a partir de seu grau de separação com o leito carroçável, desde o conflito inexistentes, de ruas exclusivas para pedestres com restrição ao tráfego veicular, passando pelas calçadas que têm separação através de canteiros ou guias de 15 cm. De outro modo, calçadas com guias rebaixadas em muitos pontos, como por exemplo, o que ocorre em postos de combustível, ou no caso extremo de não possuir área reservada para pedestres, fazem a sensação de segurança ficar muito baixa.

No segundo e terceiro atributos, características das passagens para outras calçadas – faixa de segurança e semáforos, são avaliados se os acessos entre os passeios possuem recursos de controle e quão freqüente eles ocorrem. Desse modo, existe a possibilidade de inferir das possibilidades do pedestre se locomover com segurança pelo espaço público.

#### 2.6.4.6. Segurança Pública

Chamada de seguridade por Ferreira e Sanches (2001), essa MD trata da necessidade do pedestre em sentir-se seguro quanto a sua vulnerabilidade a assaltos e agressões. Khisty (1994) relata a importância da configuração do passeio através de linhas de visão desobstruídas e, também, boa iluminação dos espaços. Segundo Silva (2004), se os pedestres não se sentirem seguros em uma calçada, não se deslocarão a pé por ela. Neste trabalho, essa MD é formada por três atributos: policiamento no local, co-presença local e visibilidade entre os

diferentes pontos do passeio.

O primeiro atributo, policiamento no local, mede se existe policiamento ostensivo no local e com que frequência ele é realizado; isso garante à população assistência em casos de perigo e, muitas vezes, previne assaltos e outros crimes. O segundo atributo, co-presença local, analisa a presença usual de outros pedestres utilizando a área. Silva (2004) argumenta que os pedestres podem preferir utilizar percursos onde haja mais movimento, pois têm necessidade de interagir com outras pessoas. O terceiro, visibilidade entre os diferentes pontos do passeio, refere-se à configuração da paisagem urbana e à capacidade do pedestre de antever perigos no seu caminho para poder evitá-los.

## 2.7. A ABORDAGEM ESCOLHIDA

Existem muitas maneiras de representar um fenômeno urbano. No início deste capítulo foram introduzidas noções de como a representação pode ser feita. Ficou claro que a predição não precisa ser, necessariamente, o objetivo do modelo. Entender as relações entre os padrões do espaço e os acontecimentos gerados por elas é a finalidade desta pesquisa.

O propósito é criar um modelo para entender o fluxo de pedestres. Existem vários modelos já desenvolvidos que buscaram representar este fenômeno particular de várias maneiras e em várias escalas. Algumas delas já foram utilizadas inclusive para prever o movimento de pedestres e analisar as escolhas que o pedestre toma ao se locomover por um determinado espaço. No entanto, mesmo com todas as pesquisas realizadas nesta área, alguns questionamentos ainda permanecem.

Como considerar a movimentação peatonal independente do desenho urbano produzido pela sociedade? O desenho urbano é útil por trazer aos pedestres a dimensão espacial da sociedade, pois ele traduz de certa maneira o componente espacial coletivo, implícito no sistema. E ainda: Os pedestres não

escolhem o local por onde eles se locomovem? Eles não escolhem os locais mais seguros e confortáveis para se locomover, em toda a amplitude que estes conceitos podem adquirir?

Um modelo urbano do fluxo de pedestres pode considerar o desenho urbano, por ser reflexo espacial da sociedade que criou a cidade, e também os níveis de serviço, pois eles lidam diretamente com os atributos locais, representados pelo índice de desempenho que o pedestre percebe em cada passeio. Dessa maneira, a representação do fenômeno conta com dois tipos de abrangências, que agregadas podem ser capazes de se complementar, partindo da influência da malha urbana, até o passeio em si, dos padrões globais do espaço urbano como um todo, passando pelo controle da vizinhança e chegando ao passeio e suas características únicas que o diferenciam dos demais.

Mas como correlacionar variáveis tão diferentes? Variáveis que de certa maneira são opostas teórica e metodologicamente? Uma abordagem possível seria desenvolver uma fórmula empírica que relacionasse as variáveis a partir de uma longa e complicada calibração. Partindo de um exemplo concreto: o modelo de gravitação proposto por Lowry e incrementado desde então por vários outros pesquisadores. Nele as variáveis são associadas numa função, considerando, por exemplo, tempo de viagem, distância ou custo origem-destino. Essas variáveis são associadas e comparadas com os volumes observados no local e através de uma calibração o modelo é capaz de fazer uma previsão desse fluxo. Segundo Jiang *et al.* (2000), este modelo apresenta ótima correlação.

Embora esse procedimento seja possível e correto, ao se trabalhar com fórmulas pré-definidas, as relações entre as variáveis já estão apresentadas e a calibração só modifica a importância delas. Por isso, foi considerada outra técnica, as redes neurais artificiais, pois assim não existe a necessidade de se definir a maneira como ocorrem as relações entre as variáveis. Dessa maneira, é possível explorar de outra forma a maneira como o desenho do espaço e a qualidade dos passeios têm ligação com o fluxo de pedestres. Pode-se criar

cenários com as variáveis, sem uma equação definida, ou seja, somente com as variáveis de entrada e as de saída e depois avaliar como se deram as relações entre elas. Com esse tipo de abordagem, exploram-se as variáveis e suas relações, criando quantos cenários forem necessários para verificar o desempenho no ambiente urbano, através de simulação.

Desde o início dos anos 90, as RNAs foram introduzidas como alternativa à modelagem tradicional, obtendo ótimos resultados com menores amostras de dados. Tillema *et al.*, (2006) compararam um modelo gravitacional tradicional e um desenvolvido com o uso de RNAs para avaliar a distribuição de viagens. Os autores constataram que ambos os modelos tiveram um desempenho semelhante quando o número de dados era abundante. No entanto, quando os dados eram escassos, os modelos com redes neurais apresentavam sempre os melhores resultados. Isso se deve à característica de aprendizado através dos exemplos, que será abordada melhor no próximo capítulo. Outro fato constatado foi que as redes neurais conseguiram atribuir corretamente o decaimento do número de viagens, quando a distância é menor entre os pólos geradores, isto é, considerando os transportes motorizados. Assim, fica claro que o modelo gravitacional tradicional somente conseguiu reproduzir bem os seus próprios dados, aqueles que o modelo já conhecia, demonstrando a falta de adaptação no modelo tradicional. Este estudo foi importante por considerar uma maneira de avaliar métodos diferentes, criando, assim, uma comparação plausível.

A escolha das redes neurais artificiais para este trabalho partiu do modo como os atributos são relacionados na estrutura interna do modelo, pois ela não parte de regras específicas, mas de um conjunto de dados treinados em paralelo. A teoria é muito importante para a caracterização de um modelo, como afirmado anteriormente (Echenique, 1976). Mas, segundo Batty (2001), deve-se buscar a teoria que seja importante para o fenômeno, tentando relacioná-la de alguma maneira com ele, mesmo não existindo uma regra explicitada e formulada, ao utilizar teorias plausíveis mas difíceis de demonstrar. Desse modo, parte-se do

princípio que não existem regras definindo o comportamento das variáveis, somente a base teórica da qual se originaram as variáveis aplicadas no modelo, isto é, que a sociedade tem participação na criação do espaço através da configuração de seu desenho urbano, e de outro modo, alterando a qualidade do passeio e vários modos.

A sintaxe espacial, através das medidas sintáticas, e os níveis de serviço, pelas medidas de desempenho, são utilizados neste modelo como variáveis de entrada e o fluxo de pedestres em movimento ou parado como a saída (Figura 5), criando os cenários de teste.

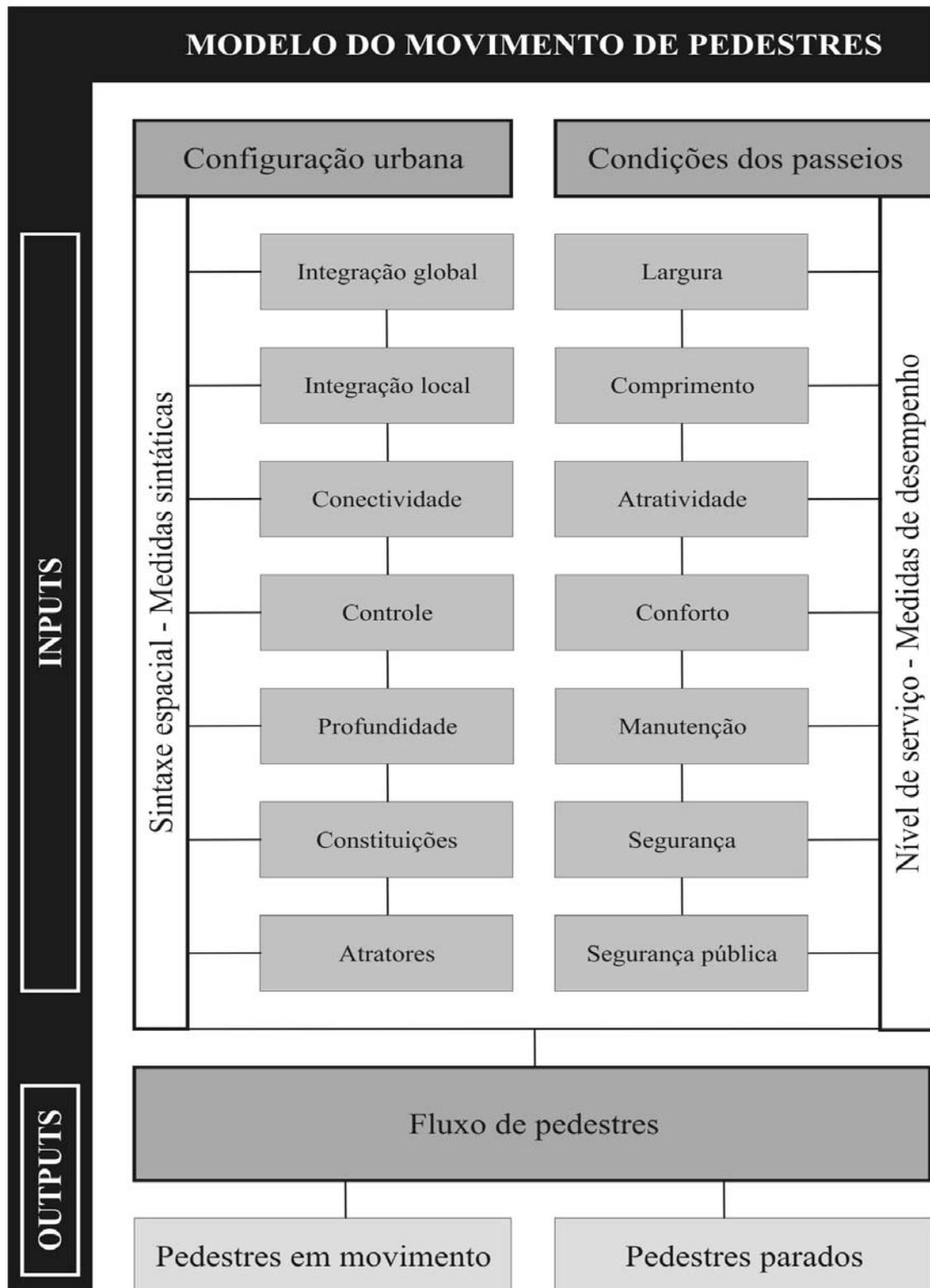


Figura 5 - Diagrama do modelo utilizado na pesquisa. Fonte: original do autor.

### 3. REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS

Este capítulo apresenta uma breve introdução sobre as redes neurais artificiais, seus conceitos, funcionalidades e sua analogia com o modelo biológico do cérebro, seguido por um breve histórico. Posteriormente, são introduzidas noções sobre a estrutura do neurônio artificial, funções de ativação, arquitetura de rede e tipos de aprendizados possíveis de serem utilizados.

Após uma análise geral sobre RNAs, há um aprofundamento sobre o modelo de rede que será utilizado neste trabalho: o perceptron de múltiplas camadas, bem como seu algoritmo de retropropagação de erro, sua funcionalidade, e sua otimização de rede possível, apresentando também noções sobre o treinamento das redes.

Para validar a escolha deste método, são apresentados estudos comparativos entre as redes neurais artificiais com outras técnicas de processamento e classificação como, por exemplo, a regressão múltipla. Para encerrar este capítulo, são discutidas algumas aplicações das redes neurais em modelagem urbana e as conseqüentes melhorias incorporadas por suas características.

#### 3.1. REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS E O PROCESSAMENTO DOS ATRIBUTOS DO ESPAÇO

Redes neurais artificiais (RNAs) são uma forma de computação baseada nas redes neurais biológicas do cérebro humano. O primeiro modelo artificial de um neurônio biológico partiu de um trabalho de dois pesquisadores, Warren McCulloch e Walter Pitts, em 1943, intitulado “A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity<sup>9</sup>”.

As redes neurais artificiais são não-algorítmicas e, também, não são

---

9 Um cálculo lógico das idéias imanentes na atividade nervosa.

fundamentadas em programas ou regras específicas. São formadas de nodos ou sistemas paralelos de processamento simples<sup>10</sup>, que processam as informações como determinadas funções matemáticas (não-lineares). Os nodos, ou neurônios artificiais, são dispostos em uma ou mais camadas se interligando por um grande número de conexões que funcionam quase sempre unidirecionalmente. Para um maior rendimento do modelo, cada uma de suas conexões é associada a “pesos”, armazenando o conhecimento e servindo para ponderação de cada entrada recebida pelos neurônios que formam a rede (Braga, 2000).

Em redes neurais artificiais, parte dos dados é treinada inicialmente em uma fase de aprendizado ou de treinamento. A partir das características do treinamento, são abstraídas as informações do fenômeno estudado e a relação entre o conjunto de variáveis. Essas características são utilizadas para a resolução dos problemas. Numa segunda fase é realizado o teste dessas variáveis com a parte dos dados que não passaram pela rede neural no treinamento, assim são verificadas se as características aprendidas podem ser aplicadas com sucesso nos dados não processados, inéditos para a rede. Se os dados de teste tiverem correlações altas e erros relativos baixos, então a rede aprendeu as características do fenômeno. A característica de aprender e de generalizar as informações é o que torna as redes neurais tão interessantes para a solução de problemas.

As redes neurais artificiais existem há muito tempo, mas só começaram a ser realmente incorporadas a modelos urbanos após a década de 90. Seu funcionamento é muito simples, contam com neurônios que processam as informações, generalizando-as a partir de exemplos.

"Uma rede neural é meramente uma forma pela qual o *conhecimento empírico* sobre um fenômeno ou ambiente de interesse pode ser codificado através de treinamento. Por conhecimento 'empírico' entendemos um conjunto de medidas que caracterizam o fenômeno" (Haykin, 2001 p. 110).

---

10 Sistema de processamento paralelo existe quando as informações são processadas ao mesmo tempo pela rede, ao contrário do sistema de processamento em série onde as informações são processadas uma depois da outra.

Os esforços para implementação de modelos que utilizam redes neurais artificiais em áreas urbanas começaram com os planejadores de tráfego e engenheiros de transporte. Com muitas publicações nessa área, já é possível traçar paralelos entre a utilização das redes neurais e outros modos usuais de modelagem urbana. Segundo Bocanegra (2002), os resultados obtidos utilizando as RNAs se mostraram superiores aos outros, como, por exemplo, às análises de regressão<sup>11</sup>.

A aplicabilidade das redes neurais artificiais tem um grande potencial de utilização na modelagem urbana por sua aptidão de aprendizado a partir de exemplos, sem regras explicitadas e, conseqüentemente, sem a necessidade de explicar o resultado de determinado efeito. Essa característica existe porque as RNAs trabalham com generalização de dados, resultando, assim, em uma resposta ótima, que não é a resposta perfeita, mas sim a melhor resposta possível a partir da margem de erro programada. Como já mencionado anteriormente, para fazer com que as RNA's aprendam deve-se passar, primeiramente, por uma etapa de treinamento. No processo de treinamento, os pesos das conexões neurais são ajustados a cada ciclo de tentativas e o programa aprende e generaliza as informações com tolerância aos ruídos de entrada (exemplos imperfeitos).

Outra característica muito importante das RNAs para a modelagem urbana é sua propriedade de processamento em paralelo das informações, isto é, todos os dados têm seu processamento realizado ao mesmo tempo. Sendo assim, os elementos que compõem o modelo afetam-se uns aos outros simultaneamente no tempo e no espaço (Rodrigue, 1997). Isso resulta em uma representação imediata dos efeitos, o que nas formas usuais de modelagem não é possível, pois utilizam somente processamento seqüencial das informações, ou seja, os parâmetros do sistema só afetam os outros no final de cada rodada. Aplicar esse conceito à modelagem urbana significa estabelecer relações simultaneamente

---

11 Método estatístico que compara as variáveis, explicando, entre outras coisas, como uma consegue explicar o comportamento de outras.

entre o modelo, seus elementos e suas ligações, ou seja, o modelo afetará individualmente os elementos que o compõem e, ainda, afetará as ligações entre seus elementos.

A adaptabilidade das redes neurais artificiais representa um atributo de extrema importância para os sistemas de modelagem e previsão urbana. Com isso, o sistema pode adaptar instantaneamente os pesos<sup>12</sup> de suas conexões às modificações do ambiente. Outra possibilidade é programar as RNAs para modificar seus pesos em tempo real, revelando-se como uma ferramenta útil para uma classificação adaptativa de padrões, a serem utilizadas em ambientes não estacionários, ou seja, onde as características mudam com o passar do tempo (Haykin, 2001). Uma rede treinada para um tipo de ambiente pode ser facilmente re-treinada, para se adaptar as suas mudanças, e com isso o sistema se torna mais dinâmico. Segundo Rodrigue (1997), equações que são apropriadas para um período histórico ou que são desenvolvidas para um cenário específico, não são necessariamente apropriadas para outras. Assim, o uso delas ficaria restrito, e sua adaptação fica dependendo de um longo processo de calibração.

"Recentemente, desenvolvimentos em processamento paralelo têm dado a geógrafos e planejadores regionais novas ferramentas e metodologias para a simulação de complexas dinâmicas urbanas, como o uso de redes neurais artificiais. Como um modelo e associador de padrões, uma rede neural artificial permite transformar as relações estruturais entre estes elementos e assim permitir um modelo auto-adaptativo" (Rodrigue, 1997, p.3).

Segundo Zuben (2003), as redes neurais artificiais servem para praticamente todos os problemas computacionais, entre eles: (i) aproximação de funções – do conhecimento limitado de um problema ou de sua complexidade cria a necessidade de aproximar a função por funções mais simples; (ii) classificações de padrões – esta modalidade está presente em áreas como diagnóstico médico, classificação de empresas quanto à capacidade de solvência,

---

12 Pesos são os valores atribuídos a cada neurônio artificial. Eles são responsáveis por ponderar o valor dos dados de entrada quando passam pela camada intermediária.

reconhecimento de impressões digitais, processamento de imagens, entre outras; (iii) identificação de sistemas dinâmicos – utilizado para descrever e analisar características de sistemas reais e tem sido aplicado em vários campos da ciência, geralmente, para resumir conhecimento acerca de um processo ou sistema; (iv) emulação de atividades humanas – baseado nos padrões das atividades humanas, procura igualar ou superar seu desempenho; (v) predição de séries temporais – através de exemplos reais cria uma resposta simulada comparável; (vi) agrupamento de dados – forma grupo de maneira a atingir sempre o menor erro interno entre os vetores que compõem cada grupo e o seu vetor médio; (vii) problemas de percurso mínimo – problema clássico do tipo “caixeiro viajante”, que busca escolher a menor rota que passe por todos os pontos necessários de um sistema; (viii) e de memória endereçável por conteúdo – sua principal função é restaurar um padrão binário armazenado, em resposta a uma versão incompleta ou ruidosa do padrão estudado. Entretanto, seu uso não implica sempre num melhor resultado que outras técnicas. Assim, recomenda-se a utilização, juntamente com as RNAs, de técnicas alternativas de solução para o problema, para comparar seus resultados. Todavia, a escolha cada vez maior da utilização de RNAs entre programadores e engenheiros para a solução de vários tipos de problemas demonstra que essa técnica não deve, de forma nenhuma, ser ignorada pelos planejadores urbanos.

O interessante de trabalhar com redes neurais artificiais é a possibilidade de comprovação prática de que certos fenômenos podem ser explicados por determinados agentes e/ou determinantes espaciais, isto é, as variáveis do espaço. No campo do planejamento urbano, constantemente, buscase associar fenômenos e padrões às suas causas, para intervir no espaço, melhorando as condições para os usuários.

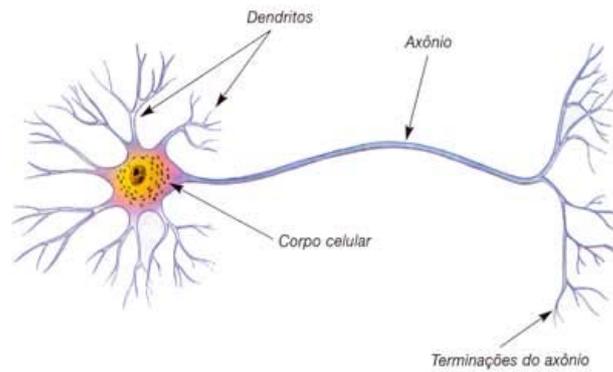
### 3.2. ANALOGIA BIOLÓGICA

Em um cérebro humano existem aproximadamente 10 bilhões de neurônios. Eles são responsáveis pelo comando das funções do organismo, pelas lembranças, pelos pensamentos, pela percepção e cognição, aprendendo, relacionando e armazenando, sob forma de experiências, os conhecimentos adquiridos. Cada neurônio pode processar milhares de informação ao mesmo tempo, em paralelo, comunicando-se simultaneamente com milhares de outros neurônios.

O sistema nervoso humano pode ser visto como um sistema de três estágios, tendo no cérebro a parte que recebe continuamente as informações (1ºestágio) para analisar (2ºestágio) e tomar a decisão necessária (3ºestágio). Os receptores convertem os estímulos recebidos para sinais elétricos, mandando-os para o cérebro, que, após o processamento, envia-os sob a forma de impulsos elétricos, que, por sua vez, são traduzidos como respostas de saída do sistema (Haykin, 2001).

A velocidade nos neurônios acontece na ordem de milissegundos ( $10^{-3}$ s), enquanto os eventos em silício ocorrem na ordem de nanossegundos ( $10^{-9}$ s); embora os neurônios biológicos sejam mais lentos que as portas lógicas em silício, o cérebro compensa com sua quantidade e número de conexões.

Os neurônios biológicos são divididos em três partes: o corpo da célula, os dendritos e o axônio (Figura 6). Os dendritos recebem as informações de outros neurônios e as transmitem para o corpo celular, onde se processa as informações recebidas. Embora o neurônio seja formado por uma estrutura simples, ele realiza apropriadamente suas três funções básicas: entrada, processamento e saída. As sinapses entre os vários neurônios fazem a união funcional dos neurônios (Braga, 2000).



**Figura 6 - Topologia de um neurônio biológico. Fonte: adaptado de [www.isurp.com.br](http://www.isurp.com.br).**

A comunicação no cérebro ocorre de dois modos: por sinais químicos, as sinapses, e por sinais elétricos que ocorrem no interior do neurônio. A membrana celular do neurônio tem a habilidade de gerar impulsos nervosos transmitidos como sinais elétricos, mandando estes impulsos para o corpo da célula, que combina estes sinais elétricos e os processa. Após esse processamento, se o valor resultante estiver acima de um certo limite, o neurônio se excita e as informações são transmitidas do axônio para dendritos de outros neurônios, propagando o estímulo. Caso o valor resultante, após o processamento, ficar abaixo desse limite, ele não se propaga e é inibido. Essa diferença potencial existente entre a parte interna e externa da célula ocorre devido à diferença na concentração de potássio (K) e sódio (Na).

O cérebro responde aos estímulos captados do meio e codificados através de sinais e os interpreta, ou melhor, pelo conjunto de neurônios funcionando em paralelo que os arquiva. A partir de várias experiências pessoais, o indivíduo monta sua própria base de dados sobre o fenômeno, o que ajuda a tomar decisões e “agir” da maneira mais apropriada. A estrutura do sistema nervoso permite o aprendizado e a adaptação do que já foi aprendido juntamente com as novas realidades encontradas. Como exemplo dessas características, podem-se citar crianças que brincam de atirar uma bolinha de borracha. As características da trajetória, velocidade inicial e velocidade de retorno são processadas pelo cérebro para que o indivíduo “pegue a bola” de volta. Se trocarmos o material da bola por um outro tipo que permita uma velocidade de

retorno maior, o cérebro pode errar nas primeiras vezes que ocorrer o novo fenômeno, mas logo em seguida se adaptará, compensando o movimento do braço para agarrar o novo objeto. A diferenciação dos objetos agora aprendida será utilizada na próxima experiência, o que aumentará as taxas de sucesso. As taxas de acerto não serão sempre perfeitas, variações do ambiente e outros condicionantes poderão ocasionar erros de decisões, que serão aprendidos, e as taxas de acerto aumentarão sucessivamente. Com isso, o cérebro compensa as informações, tornando os indivíduos mais aptos às situações encontradas, não obtendo uma resposta matemática como a resposta perfeita, mas sim a melhor resposta possível entre as situações vivenciadas.

A partir dessas propriedades do sistema nervoso e de seu comportamento foi formulada a base de estudos para as redes neurais artificiais.

### 3.3. RÁPIDO HISTÓRICO SOBRE AS REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

O primeiro modelo artificial de um neurônio biológico partiu de um trabalho de dois pesquisadores, Warren McCulloch e Walter Pitts. McCulloch foi um psiquiatra que estudou por 20 anos o funcionamento da representação de um evento num sistema nervoso; já Pitts foi um matemático prodígio (Haykin, 2001). Em 1943, publicaram o livro “A logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity”. Esse trabalho se destacou por concentrar-se em descrever um modelo de um neurônio e apresentar suas capacidades (Braga, 2000).

O primeiro trabalho que possuiu uma ligação direta com o aprendizado foi apresentado por Donald Hebb em 1949 intitulado “The Organization of Behavior”. Em sua teoria explica o aprendizado existente entre nodos biológicos e o reforço das ligações sinápticas entre os nodos excitados. Propôs que o cérebro humano muda suas conexões ao aprender, criando novos agrupamentos neurais conforme executa novas tarefas.

Frank Rosenblatt em seu livro "Principles of Neurodynamics" de 1958,

introduziu o modelo *perceptron*, baseado nos conceitos de Pitts e McCulloch. Em seu método inovador de aprendizagem supervisionada, as RNAs são acrescentadas de sinapses ajustáveis, podendo ser treinadas para classificar certos tipos de padrões (Loesch & Sari apud Bocanegra, 2002). Embora o modelo fosse avançado para a época, apresentava limitações em suas funções lógicas, pois não possuíam camadas intermediárias e sua função de ativação era do tipo “tudo ou nada”<sup>13</sup>, o que deixava o neurônio artificial com uma resposta limitada. Widrow e Hoff, em 1967, desenvolveram o Adeline (Adaptative linear element), um novo processamento para redes neurais equipado com uma poderosa lei de aprendizado. Ao contrário do *perceptron*, o *Adeline* utilizou saídas analógicas ao invés de binárias.

Nos anos que se seguiram houve um entusiasmo muito grande a respeito do poder de computação das RNAs, surgindo publicações que sugeriam que nos próximos anos se desenvolveriam máquinas tão poderosas quanto o cérebro humano e que solucionariam qualquer tipo de problema (Tatibana & Kaetsu, 2004). Em 1969, Minsky e Papert chamam atenção para algumas tarefas que o *perceptron* não podia resolver, tarefas essas que necessitavam de detecção de paridade, conectividade e simetria, ou seja, problemas não-linearmente separáveis. Este e outros fatos levaram a um abandono da área pela maioria de seus pesquisadores por mais de dez anos.

Em 1982, John Hopfield publicou um artigo chamando atenção das propriedades associativas das RNAs. Foi um dos grandes responsáveis pelo ressurgimento do interesse em redes neurais nos anos 80. Devido à pesquisa e avanços tecnológicos como a solução dos problemas da rede *perceptron*, retorna o interesse pelas RNA's, com várias contribuições na área por muitos pesquisadores. Rumelhart, Hinton e Williams desenvolveram, em 1986, o

---

13 A função de ativação “tudo ou nada”, também conhecida por limiar, permite a produção de uma saída no neurônio somente se o valor da ativação for positivo. Se for negativo inibe a propagação.

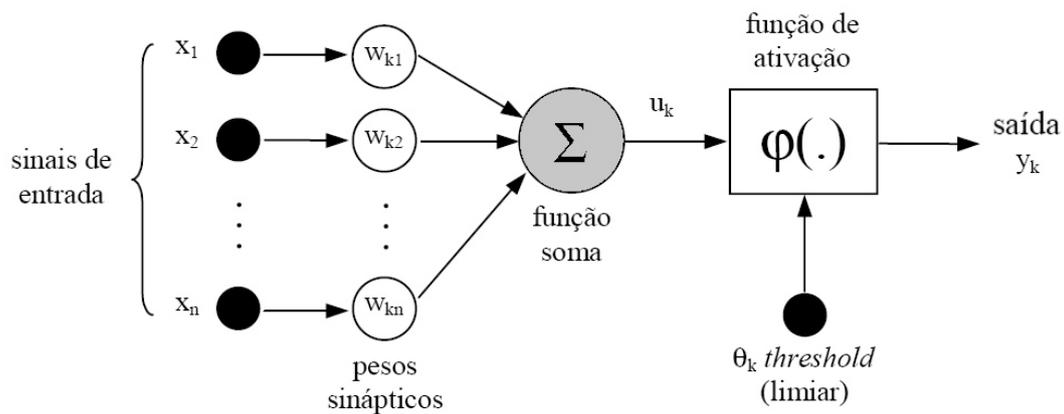
algoritmo da retropropagação (back-propagation), evidenciando que Minsky e Papert estavam errados e fizeram previsões equivocadas sobre a rede *perceptron*.

Devido as suas características particulares, a utilização das redes neurais artificiais está crescendo cada vez mais, atuando de várias formas. Hoje em dia, a utilização de redes neurais artificiais está sendo incorporada em vários sistemas e aplicações em informática, como, por exemplo, programas de reconhecimento de voz, de escrita, inteligência artificial, técnicas de prognóstico de mercado financeiro, diagnóstico médico e avaliação de crédito, entre outras. É certo que as redes neurais se estabeleceram como um tema interdisciplinar e, graças a isso, sua aplicação tende a continuar crescendo, e cada vez mais projetos serão desenvolvidos com o seu auxílio.

### 3.4. ESTRUTURA DE UMA RNA

#### 3.4.1. Modelo de um neurônio

Um neurônio artificial é a base de desenvolvimento de uma RNA. Ele pode receber uma ou mais entradas transformando-as em saídas. Dentro de sua estrutura lógica é processada a informação que chega a cada neurônio. Haykin (2001) cita três elementos básicos de sua composição: um conjunto de sinapses ou elos de conexão, um *somador* para os sinais de entrada e uma função de ativação (Figura 7).



**Figura 7 - Modelo de um neurônio artificial. Fonte: adaptado de Haykin (2001).**

No conjunto de sinapses, cada entrada ou conexão é multiplicada por um peso sináptico próprio ( $w$ ). Os índices de peso sináptico são escritos como  $w_{kn}$ , onde o peso  $k$  refere-se ao neurônio e o  $n$  refere-se ao terminal de entrada da sinapse. O papel do peso  $w_{kn}$  é de multiplicar o sinal de entrada  $x_n$  na entrada da sinapse  $n$ , esta que, por sua vez, está ligada a um neurônio  $k$ . O valor  $w_{kn}$  será positivo se a sinapse for excitatória e negativo se for inibitória.

O **somador** ou **função soma** é onde são ponderados os pesos das conexões pelas respectivas sinapses do neurônio (Equação 10).

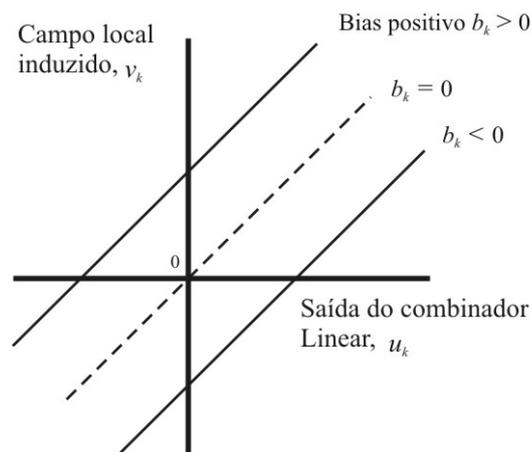
$$u_k = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_j \quad (10)$$

(Fonte: Haykin, 2001)

O **limiar** é utilizado para restringir as saídas do neurônio; assim, se a saída tiver um valor menor que ele, será inibida, do contrário continuará ativa. A **função de ativação** serve para limitar a amplitude de saída de um neurônio, tipicamente esse intervalo é descrito com  $[0,1]$  ou  $[-1, 1]$ .

No modelo de neurônio também se inclui o *bias* que é aplicado externamente como ponderação e serve para aumentar ou diminuir a entrada

líquida de uma função de ativação (Haykin, 2001). O *bias*  $b_k$  pode ser positivo ou negativo e é utilizado para alterar a saída do combinador linear  $u_k$  do neurônio  $k$ , criando um “campo local de indução” (Figura 8) que nada mais é que a soma ponderada de todas as entradas sinápticas somadas ao *bias*.



**Figura 8 - Efeito produzido pelo bias. Fonte: original do autor.**

### 3.4.2. Função de ativação

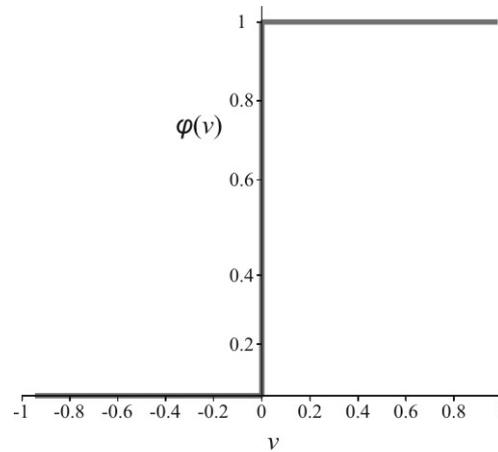
A ativação do neurônio é feita através da função de ativação que aciona ou não uma saída em função do valor da soma ponderada de suas entradas (Braga *et al.*, 2000). A função de ativação representada por  $\varphi(v)$  é dada de acordo com o nível de atividade da entrada de um neurônio, o que permite a produção de uma saída qualquer em termos do campo induzido  $v$ . Segundo Haykin (2001), existem muitas funções de ativação possíveis, dentre elas se destacam:

- Função limiar ou função de Heaviside – Essa função foi aplicada por sua propriedade do tipo “tudo ou nada” por McCulloch e Pitts em seu trabalho pioneiro em RNA. A saída do neurônio assume o valor 1 se o campo induzido possuir um valor maior ou igual a 0, e negativo se for menor que 0 (Equação 11) (Figura 9).

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1 & \text{se } v \geq 0 \\ -1 & \text{se } v < 0 \end{cases}$$

(11)

(Fonte: Haykin 2001)

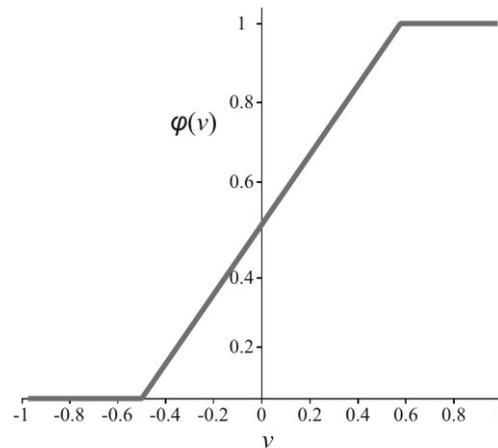


**Figura 9 - Função limiar. Fonte: original do autor.**

- Função linear por partes – Essa função assemelha-se muito à função limiar (Figura 10), tendo a diferença de possuir um valor unitário para a graduação do sinal de saída com o comportamento linear (Equação 12).

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1, & v \geq +\frac{1}{2} \\ v, & +\frac{1}{2} > v > -\frac{1}{2} \\ 0, & v \leq -\frac{1}{2} \end{cases} \quad (12)$$

(Fonte: Haykin 2001)



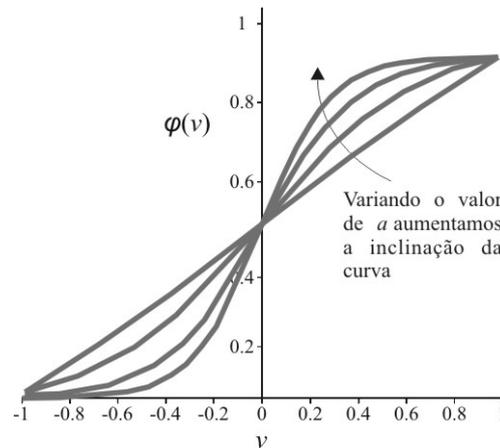
**Figura 10 - Função limiar por partes. Fonte: original do autor.**

- Função sigmóide – A mais utilizada entre as funções de ativação é a sigmóide devido a sua curva ser suave, o que não altera bruscamente os pesos das conexões. Seu gráfico apresenta a forma de um S de caráter estritamente crescente (Figura 11). Um exemplo de função sigmóide é a logística, que é definida pela equação 13:

$$\varphi(v) = \frac{1}{1 + \exp(-av)} \quad (13)$$

(Fonte: Haykin 2001)

onde o parâmetro  $a$  é a inclinação da função, ou seja, ao variá-lo, conseguimos funções sigmóides com inclinações diferentes. Quando o valor de  $a$  se aproxima do infinito, a função se torna praticamente uma função limiar. A função sigmóide logística tem características muito interessantes para ser empregada nos neurônios artificiais, pois sua característica de diferenciabilidade ou não-linearidade é importante por aproximar-se mais dos neurônios biológicos, e assim a relação de entrada-saída da rede não fica reduzida àquela de um *perceptron* de uma camada.



**Figura 11 - Função sigmóide logística. Fonte: original do autor.**

### 3.4.3. Principais arquiteturas de redes neurais artificiais

Para fazer a definição da arquitetura de rede a ser utilizada, deve-se conhecer o problema que se procura resolver, tendo em mente que o algoritmo de aprendizado utilizado está ligado ao funcionamento dos neurônios da rede. Segundo Braga (2000), os seguintes parâmetros fazem parte da definição da arquitetura:

#### **Tipos de conexões:**

a) Feedforward, não-recorrente ou acíclica – São aquelas que não possuem realimentação de suas saídas, ou seja, a saída de algum de seus neurônios não pode ser usada como entrada de nodos em camadas anteriores e, por este fato são definidas como “sem memória”. Esse tipo também é conhecido como "Redes Alimentadas Adiante”.

b) Feedback, recorrentes ou cíclica – A saída de algum de seus neurônios é usada como entrada de outro anterior. Com essa realimentação, as saídas são determinadas pelas entradas atuais e as saídas anteriores (Bocanegra, 2004).

### Número de camadas:

a) Camada única – Também conhecida como *perceptrons*. Nela existe apenas um nó em qualquer entrada e qualquer saída (Figura 12). Elas não serão utilizadas neste trabalho por possuírem uma gama limitada de aplicações.

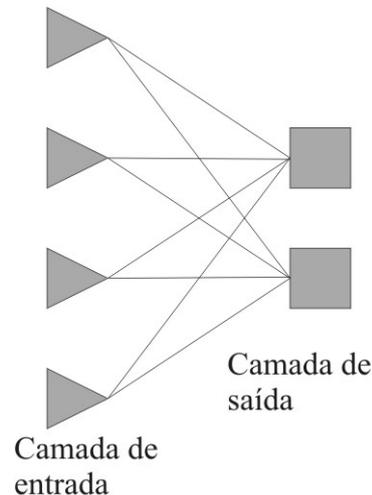


Figura 12 - Topologia de uma rede *Perceptron* sem camada intermediária. Fonte: original do autor.

b) Múltiplas camadas – Conhecida como *multilayer perceptrons*. Nesse tipo de rede existem uma ou mais camadas intermediárias ou ocultas entre a entrada e a saída da rede. Os neurônios das camadas ocultas são usados para tornar a rede apta a extrair estatísticas de ordem elevada, resolvendo problemas que as redes de uma camada não conseguem resolver. Esse tipo de rede é utilizada neste trabalho, e os detalhes sobre seu funcionamento serão exemplificados mais adiante.

### Quanto à conectividade:

a) Rede fracamente conectada – É uma rede que possui um pequeno número de conexões entre si e seus dados de entrada não interagem muito entre si.

b) Rede completamente conectada – Nesse tipo de rede as conexões entre os neurônios são intensas, assim os dados de entrada passam a influenciar

os dados da rede como um todo.

#### 3.4.4. Tipos de aprendizado

Redes neurais artificiais são capazes de aprender por exemplificações e a partir disso fazer atribuições, generalizando aquilo que aprenderam. Por isso não existem regras, o que se faz é uma determinação sobre a intensidade de conexões entre os neurônios. Não existem algoritmos específicos deste aprendizado, somente conjuntos de ferramentas representados por algoritmos, cada uma possuindo vantagens e desvantagens (Braga, 2000).

Basicamente, para o funcionamento de uma RNA, tem-se a fase de aprendizado (treinamento), que é quando a rede busca informações relevantes sobre os padrões de informação apresentados, criando sua representação para o problema. É nessa fase que a rede faz os ajustes de seus parâmetros, o peso das conexões entre as unidades de processamento. A maneira com que uma rede se relaciona com o meio ambiente se define por seu modo de aprendizado, divididos em três grupos: supervisionado, não supervisionado e híbrido (Brondino, 1999).

O aprendizado supervisionado é o método mais comum de aprendizado. Seu treinamento consiste em fornecer à rede os valores dos dados das entradas e das saídas por um supervisor. Com objetivo de minimizar os erros é realizada uma comparação entre a saída desejada e a saída da rede (teste) e, a partir desses dados, são ajustados os pesos das conexões. Como valor do desempenho tem-se a soma dos erros quadráticos. A desvantagem desse método está na impossibilidade da rede em aprender sem a interferência do supervisor.

No método não supervisionado não há um professor acompanhando o aprendizado. Esse processo consiste em modificar repetidamente o peso sináptico de todas as conexões do sistema em resposta às entradas, criando estatisticamente classes de maneira automática.

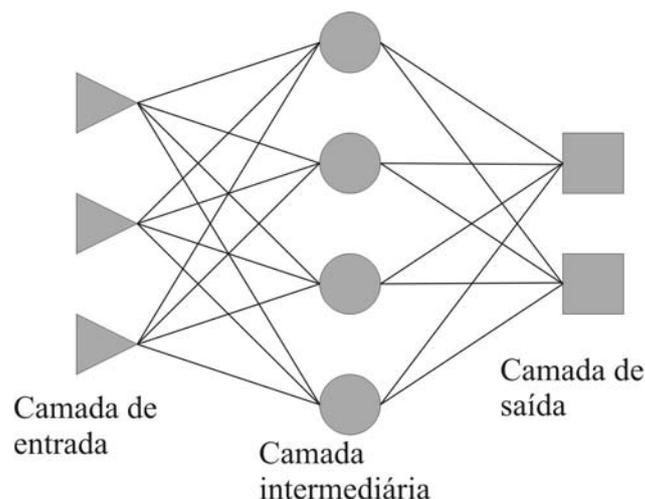
O aprendizado híbrido é uma combinação entre os dois anteriores.

Como exemplo deste método existe o aprendizado por reforço, onde a rede usa seu próprio ambiente para o aprendizado. A indicação de que a resposta está ou não correta é obtida como informação externa (Brondino, 1999).

### 3.5. PERCEPTRONS DE MÚLTIPLAS CAMADAS (MULTILAYER PERCEPTRONS)

Esse tipo de arquitetura de rede é o mais utilizado atualmente por sua capacidade de resolver problemas com altos graus de dificuldade; seu treinamento é supervisionado e seu algoritmo é baseado na regra de aprendizado por correção de erro, conhecido por *backpropagation error*. Esse tipo de arquitetura de rede é empregado neste trabalho por oferecer melhores resultados e uma capacidade adequada ao aprendizado e à abstração para resolver os problemas apresentados.

A rede *multilayer perceptrons* (MLP) é utilizada para resolução de problemas não-linearmente separáveis, usando uma ou mais camadas escondidas (intermediárias), onde o sinal de entrada é propagado para frente, passando de camada em camada (Figura 13).



**Figura 13 - Topologia de uma rede Multilayer Perceptron com uma camada intermediária. Fonte: original do autor.**

Redes MLP apresentam poder computacional muito maior do que aquele apresentado pelas redes sem camadas intermediárias. Um dos principais aspectos relacionados ao projeto de rede MLP diz respeito à função de ativação utilizada. Essas funções devem ser não lineares e diferenciáveis. A função de ativação mais utilizada é a sigmoideal logística, como dito anteriormente (Braga, 1999).

Segundo Haykin (2001), um MLP possui três características, que o distinguem de outros tipos de redes:

1. Uma função de ativação não linear suave, ou seja, diferenciável em cada ponto, importante pela sua distinção da rede sem camada oculta, que possui sua variação abrupta. A rede, nesse caso, utiliza a função de ativação sigmóide logística.
2. Uma ou mais camadas com neurônios ocultos, com a função de fazer com que a rede aprenda tarefas complexas ao extrair, de maneira progressiva, as características dos padrões de entrada que resultam na saída estipulada.
3. Um alto grau de conectividade entre seus neurônios, as sinapses.

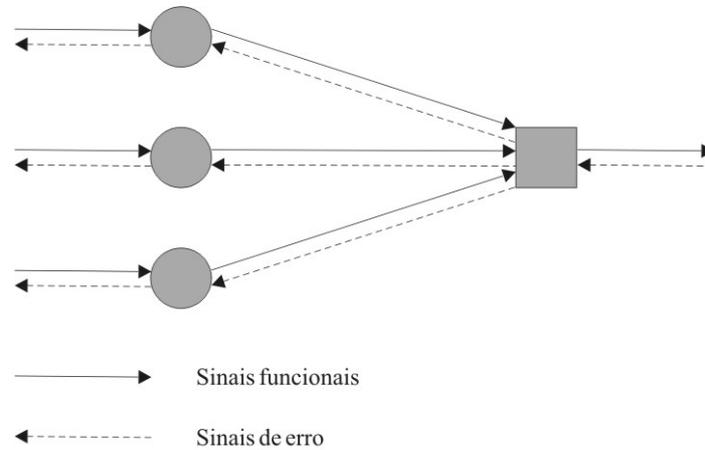
### 3.5.1. Algoritmo de retropropagação de erro

No funcionamento desse tipo de aprendizagem existem dois passos através das camadas da rede: a propagação e a retropropagação. Propagação é quando um padrão de atividade (sinal funcional) se propaga pela rede para frente, camada por camada, chegando à saída da rede como uma resposta final. Na propagação, todos os pesos das conexões sinápticas são fixos; por outro lado, na retropropagação, esses pesos são ajustados de acordo com as regras de correção de erro (Haykin, 2001).

Na retropropagação, a resposta obtida pela rede (simulada) é subtraída da resposta desejada (real) produzindo um sinal de erro que é propagado para trás na rede, ajustando os pesos sinápticos. Cada vez que isso ocorre, a resposta da

rede fica mais próxima da resposta almejada.

A figura 14 demonstra esses dois sinais, funcional e de erro, em parte de uma rede MLP:



**Figura 14 - Fluxos de sinal básicos da MLP. Fonte: original do autor.**

### 3.5.2. Funcionalidade

O processamento realizado por cada nodo é definido pela combinação dos procedimentos realizados pelos nodos das camadas anteriores que estão conectados a eles, tornando as funções cada vez mais complexas. Segundo Braga (1999), o seguinte processamento ocorre em cada uma das camadas:

- Camada de entrada: Cada nodo (neurônios sensoriais) apenas distribui a informação para os neurônios das camadas ocultas sem alteração.
- Primeira camada intermediária: Cada nodo traça retas no espaço de padrões de treinamento.
- Segunda camada intermediária: Cada nodo combina as retas traçadas pelos neurônios conectados a ele da camada anterior, formando as regiões convexas, onde o número de lados é definido pelo número de unidades a ele conectadas.
- Camada de saída: Cada nodo forma regiões que são combinações das regiões convexas definida pelos nodos conectados a ele da camada anterior. Os nodos definem, dessa maneira, regiões com formatos

abstratos.

Pode-se dizer que as unidades intermediárias de uma rede MLP funcionam como detectores de características, gerando uma codificação interna dos padrões de entrada, que é utilizada para a definição de saída da rede. Com um número suficientemente grande de unidades intermediárias, é possível formar representações internas para qualquer conjunto de padrões de entrada.

Alguns pesquisadores, investigando o número necessário de camadas intermediárias, chegaram às seguintes conclusões: uma camada intermediária é suficiente para aproximar qualquer função contínua<sup>14</sup> e duas camadas intermediárias são suficientes para aproximar qualquer função matemática<sup>15</sup>. É recomendado que não se utilize um número muito grande de camadas intermediárias, pois, cada vez que um erro é propagado para a camada anterior, ele se torna menos preciso. A única camada que tem uma noção precisa do erro cometido pela rede é a camada de saída.

Com relação ao número de nodos, bem como o de conexões, não são definidas por uma norma específica. Existem algumas maneiras práticas que podem ser utilizadas para embasar essa escolha como definir o número de unidades em função do número de variáveis utilizadas nas entradas e saídas. Por exemplo: (I) Definir uma camada oculta com o mesmo número de neurônios que as variáveis de entrada. (II) Definir o mesmo número de neurônios que a soma das variáveis de entrada e de saída dividido por dois.

É importante utilizar um número de conexões dez vezes menor do que

---

14 Numericamente uma função é contínua se valores da variável independente próximos entre si, geram valores da função que estão tão próximos uns aos outros quanto desejado, ou seja, uma função  $f$  é contínua no ponto  $x = a$  se existir o limite de  $f(x)$  com  $x$  tendendo 'a' e esse limite for igual a  $f(a)$ . Diz-se que  $f$  é contínua em seu domínio, ou contínua simplesmente, se ela for contínua em todos os pontos desse domínio.

15 O conceito de uma função é uma generalização da noção comum de "fórmula matemática". Funções descrevem relações matemáticas especiais entre dois objetos,  $x$  e  $y = f(x)$ .

o número de exemplos<sup>16</sup> para poder reduzir a incidência de *overfitting*<sup>17</sup>. Como não existe uma regra geral que funcione muito bem em todos os casos, torna-se prudente modificar a estrutura da rede até atingir melhores valores de correlação e de menor erro médio.

### 3.5.3. Otimização da topologia da rede

Essa etapa de ajustes tem por objetivo a obtenção de uma topologia de rede que modele com precisão os dados do conjunto de treinamento, mas que também resulte numa RNA com boa capacidade de generalização. Como existem erros inerentes ao processo de amostragem, é necessário que a estrutura de RNA modele os dados sem modelar o ruído contido neles. Obtém-se uma rede bem treinada quando ela não é rígida a ponto de modelar fielmente os dados, mas também não é muito flexível, modelando também o ruído.

O objetivo é conseguir uma rede que consiga abstrair as informações e retirar suas características, resultando em um modelo tolerante a falhas de captação dos dados, e além disso, tenha uma porcentagem baixa de erros, generalizando a informação. Uma forma de evitar o *overfitting* é dividir os dados em conjunto de treinamento e conjunto de validação. O conjunto de treinamento se utiliza para a modificação dos pesos, e o conjunto de validação se utiliza para estimar a capacidade de generalização da rede durante o processo de aprendizado (Braga, 1999).

O processo de aprendizado acontece com a generalização dos dados. Uma rede neural artificial generalizará bem os dados, quando sua saída produzir um valor correto ao utilizar exemplos diferentes da fase de treinamento. Quando a rede treina em excesso ocorre o *overfitting*, e assim ela perde sua habilidade de

---

16 Exemplos são os dados que entram na fase de treinamento da rede.

17 Problema que leva a rede a memorizar os padrões de treinamento, em vez de extrair características gerais que permitirão a generalização dos padrões não vistos durante o treinamento.

generalizar a informação entre padrões de entrada e saída. As redes com excesso de treinamento tendem a memorizar os dados, resultando em uma resposta ótima ao fenômeno, mas não se adaptando a mudanças. Assim a rede fica incapaz de aprender e abstrair informações novas.

#### 3.5.4. Treinamento das redes multilayer perceptron

Os algoritmos para treinamento de rede podem ser classificados em estáticos e dinâmicos. Os estáticos são aqueles que não alteram a estrutura da rede, variando apenas os valores de seus pesos. Nos dinâmicos, o tamanho da rede pode variar, como o número de camadas, o número de nodos nas camadas intermediárias ou o número de conexões.

No aprendizado se utiliza o algoritmo de treinamento de redes *back-propagation*. Esse algoritmo supervisionado, como já descrito anteriormente, utiliza os valores da variação entre a saída desejada e a saída real para corrigir erros, ajustando os pesos da rede. Várias falhas podem surgir na utilização do algoritmo *back-propagation* como, por exemplo, a lentidão para superfícies mais complexas.

A generalização é, segundo Haykin (2001), influenciada por três fatores: o tamanho do conjunto de treinamento, a arquitetura de rede neural utilizada e a complexidade física do problema em questão. Como para esse último fator não existe controle e para os outros dois há, freqüentemente uma diferença significativa entre as fórmulas usadas para chegar a esse número ideal e a realmente necessária, Haykin (2001) salienta que este problema de complexidade mostra uma área de pesquisa em aberto.

### 3.6. AVALIANDO AS REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

Foram realizados testes comparativos entre diversas técnicas de agregação de conhecimento e suporte de decisão (Mak, 1996), dentre as quais

estavam métodos estatísticos clássicos e as RNA's, entre outros. A conclusão a que chegaram os pesquisadores foi que as redes neurais artificiais mostraram melhores performances que outros métodos na parte de robustez e exatidão preditiva. Ainda foi analisada a importância das variáveis em cada um dos métodos utilizados. Nas redes neurais elas são baseadas nos pesos das conexões e demonstraram uma ótima correlação entre seus padrões, classificando as variáveis por importância. Ainda que as redes neurais tenham exatidões preditivas a respeito dos dados, foi encontrada uma baixa capacidade explanatória do problema por esse método e ainda uma baixa adaptação ao problema. Sobre o quesito *adaptação ao problema* ter sido baixo para a RNA estudada (71,88% da RNA contra 72,66% do método ID3<sup>18</sup>), foi explicado devido à grande diferença dos dados escolhidos para treinamento e os dados de teste, o que resulta em discrepância do sistema e baixa adaptabilidade, isto é, os dados dessa rede não foram bem treinados, como cita Haykin (2001):

"Uma rede neural, que é projetada para generalizar bem, produzirá um mapeamento de entrada-saída correto, mesmo quando a entrada for um pouco diferente dos exemplos usados para treinar a rede (...)" (Haykin, 2001, p. 232).

Dvir (2006) comparou o desempenho entre as RNA e as técnicas de regressão linear utilizadas em um projeto de gerenciamento de defesa. As RNAs encontraram alguns fatores críticos que foram apresentados como irrelevantes pela regressão linear. As RNAs criaram uma lista de fator de importância mais preciso do que a regressão linear, inclusive para dados novos não treinados com uma grande vantagem estatística. Seus resultados ainda obtiveram uma taxa de acerto maior e um erro médio muito menor, com uma precisão de 95% nas novas previsões. Nesse caso, a melhora total entre os dois métodos utilizados foi de 10% a mais para as RNAs; então, pode-se dizer que as previsões através de

---

18 Intuition Discrimination Tree - Método de classificação que utiliza funções discriminantes para classificação nas amostras de treinamento. É utilizado quando se possui um corpo de dados extenso e os examina para achar uma mínima combinação de atributos para determinação de um membro de classe (Mak, 1996).

regressão linear não foram capazes de encontrar explicações para as relações não lineares entre as variáveis do banco de dados. Nessa pesquisa destaca-se ainda, além das melhorias estatísticas, a maior facilidade de criar uma RNA do que implementar uma análise através de regressão linear.

Segundo Bocanegra (2003), as RNAs são superiores a métodos estatísticos utilizados para classificação e previsão de eventos tanto para amostras de dados de pequeno quanto de grande porte, e a sua comparação demonstra que, em funções de maior complexidade, as redes neurais têm apresentado excelentes resultados.

### 3.7. APLICAÇÃO DAS REDES NEURAIIS PARA MODELAGEM URBANA

No artigo *Parallel Distributed Processing of Transportation / Land Use Systems: Teory and Modelling with Neural Networks*, Jean Paul Rodrigue (1997) comparou um modelo urbano do tipo Lowry, criado por processamento seqüencial, com o de um criado com processamento paralelo. A conclusão a que se chega é que o processamento seqüencial não representa bem as complexas dinâmicas urbanas, enquanto o de processamento paralelo, ou seja, implementado por redes neurais, possui um poderoso associador de padrões, como se fosse um modelo autocalibrado. O modelo executado com a utilização de RNAs pode trabalhar com falhas ou ruídos em seus dados, pois, ao generalizar os dados, exclui as discrepâncias do sistema. Como seus elementos afetam-se simultaneamente, seus resultados são mais realísticos, porém mais difíceis de conceitualizar.

Os pontos negativos do uso de redes neurais encontrados por Rodrigue (1997) são: primeiro, quando a rede é programada para ter um valor de erro muito baixo, perde seu padrão associativo, pois não responde claramente às mudanças no contexto das informações. Então, o modelo não se adapta quando ocorrem mudanças nos padrões de dados, perdendo significativamente sua taxa de

acertos. Segundo, as redes neurais não trabalham com equações definidas, comparam os resultados obtidos com os reais e calibram os pesos. As RNAs capturam as relações entre os elementos diretamente, sendo assim, não possuem potencial dedutivo. Terceiro, sua capacidade de estabelecer relações entre as variáveis é um ponto positivo das RNAs, no entanto, Rodrigue (1997) afirma que, como esse processo é realizado internamente em suas camadas escondidas, torna-se difícil de visualizar a contribuição de cada variável no modelo.

Sobre esse último ponto, atualmente existem programas e métodos de RNA que determinam a participação de cada uma das variáveis treinadas, assim, retiram-se as menos significantes para o modelo e treina-se de novo, o que muitas vezes melhora o desempenho do modelo. Bocanegra (2002) começou sua modelagem com sete variáveis e depois do treinamento restaram apenas três variáveis e com uma taxa de acerto maior que anteriormente.

Quando se faz um modelo de predição urbana, um dos grandes problemas enfrentados é o fato que originou uma característica ou mudança na estrutura urbana, pois o que é relevante para uma situação ou período temporal, pode não ser para outro, o que causa a necessidade de se ajustar o modelo. Alguns modelos possuem uma dificuldade muito grande de serem ajustados a uma nova situação ou período temporal, principalmente se forem realizados por pessoal não especializado com as características particulares do modelo, o que demanda muito tempo e investimento.

É neste ponto que as redes neurais podem auxiliar, fazendo com que os modelos fiquem autocalibrados, facilitando seu uso. As relações aprendidas podem facilmente se converter em programas simples ou planilhas de computador (Bocanegra, 2002), ajudando especialmente o pessoal não treinado.

As redes neurais, assim como outras novas técnicas de agregação de conhecimento, oferecem um novo método de representar as interações entre os elementos urbanos. Essas contribuições continuarão a ter impacto nos modelos urbanos e devem ser ponderadas para implementação de novos sistemas.

## 4. METODOLOGIA

Para criar uma representação do sistema urbano que demonstre de maneira satisfatória a circulação de pedestres nos centros das cidades de tecido tradicional, é necessária uma teoria fundamentada. Esse trabalho não tem o objetivo de desenvolver uma teoria, e sim, a utilização de teorias existentes que tiveram seus métodos comprovados cientificamente através de outras pesquisas e, ainda, que já tenham sido implementados, como é o caso da sintaxe espacial e do nível de desempenho dos passeios públicos.

A metodologia utilizada para a obtenção dos atributos é a mesma empregada para as medidas sintáticas e para os níveis de serviço e será apresentada a seguir. Os atributos obtidos, de sintaxe espacial e de medidas de desempenho, funcionam como as entradas (inputs) do modelo, tendo como resultado o fluxo de pedestres (output). O processamento desses atributos para obtenção de seus pesos e suas relações será feito através de redes neurais artificiais.

Nesse item são apresentadas as abordagens adotadas na definição das variáveis de sintaxe espacial e do nível de serviço das calçadas, necessárias para o desenvolvimento de modelos de RNA, que visam à previsão do fluxo de pedestres.

### 4.1. DELIMITAÇÃO DO OBJETO EMPÍRICO DE ESTUDO

O critério utilizado para escolher a área da pesquisa foi considerar os passeios que mais representam a dinâmica da movimentação de pedestres no centro da cidade de Santa Maria, RS, juntamente com sua multiplicidade de usos. Nessa seleção, a intenção foi buscar uma área de uma cidade com passeios que, mesmo centrais quanto à localização, possuíssem usos distintos e uma variedade de níveis de integração no sistema urbano.

Como objeto de estudo, foi escolhida uma parte da zona central da cidade de Santa Maria (Figura 16), que se localiza no estado do Rio Grande do Sul, na posição 29° 41' 25" de latitude sul e 53° 48' 42" longitude oeste (Figura 15).



**Figura 15 - Localização da cidade de Santa Maria. Fonte: original do autor.**

Este trecho da cidade (Figura 16) foi selecionado por representar adequadamente um tecido urbano tradicional. Como tecido tradicional podem-se considerar as configurações urbanas que têm por base um processo de crescimento não necessariamente originado de um projeto unitário (Rigatti, 1995).

Quanto às necessidades metodológicas, a área escolhida está bem adequada para as análises de nível de serviço dos passeios. No entanto, tratando-se da necessidade imposta pela sintaxe espacial, ela é muito pequena para ser analisada separadamente de seu entorno. A grande vantagem alcançada através da sintaxe espacial é comparar todo o espaço urbano em conjunto, pois os

espaços locais são globalmente influenciados. Hillier (1984) recomenda o uso de todo o sistema urbano, ou de uma grande parte dele, a fim de se evitar o efeito provocado pelos limites físicos que podemos impor ao estudo. Para a resolução desse problema, será utilizado o mapa axial de toda a cidade, o que anula o "efeito de borda".



**Figura 16 - Mapa da cidade de Santa Maria, com a área da pesquisa hachurada em vermelho. Fonte: adaptado de Salomoni (2006).**

A área selecionada consiste em 71 calçadas, que, por ser um número pequeno de passeios, possibilita trabalhar adequadamente com o instrumental proposto, principalmente no levantamento dos dados e seu conseqüente processamento. A seguir está o trecho da área central da cidade onde foram extraídos os dados necessários ao trabalho (Figura 17).

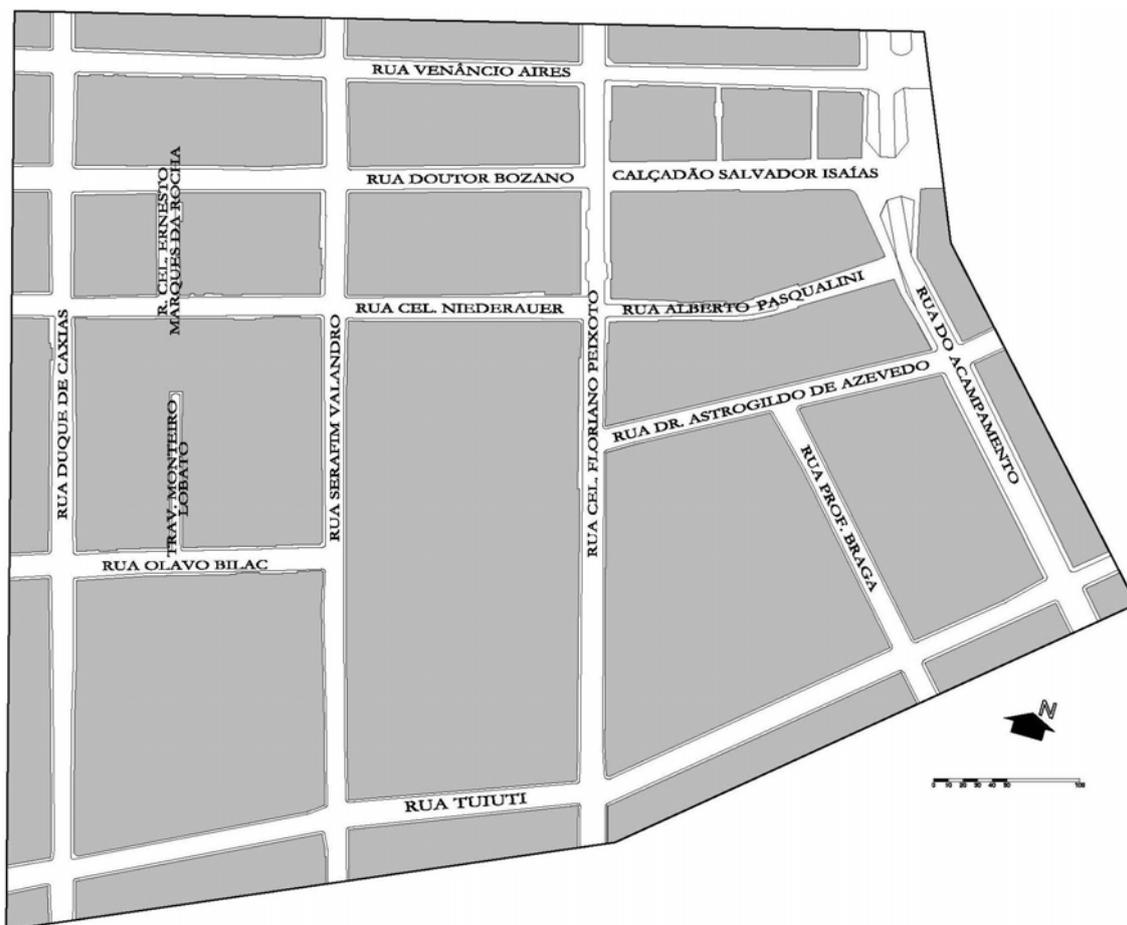


Figura 17 - Mapa da área de estudo. Fonte: original do autor.

A área está limitada pelas ruas Venâncio Aires, Acampamento, Tuiuti e Duque de Caxias, englobando a antiga primeira quadra, que hoje é conhecida por Calçadão Salvador Isaías, uma rua peatonal que se localiza na 1ª quadra da rua Dr. Bozano e que possui papel muito importante para a cidade. Nessa área também estão inseridas galerias públicas que fazem a ligação entre o calçadão e a rua Venâncio Aires.

#### 4.2. PROJETO PILOTO

O projeto piloto foi criado com o intuito de testar o método de coleta e o posterior processamento dos dados deste trabalho, bem como a adequação do método de coleta ao estudo proposto. Existem variáveis, tanto em sintaxe

espacial, quanto nos níveis de serviço, que podem ser obtidas de várias maneiras. A importância desse projeto piloto consiste em avaliar a performance dessas variáveis.

Assim, no decorrer deste capítulo, será apresentado como foram feitas as escolhas entre os meios de representação possíveis, juntamente com a determinação por um meio específico de representação. No projeto piloto, foi selecionado uma parte da área de estudo (figura 18) para avaliar o método antes de sua aplicação na área de estudo. Esse modo de pré-selecionar o formato das variáveis, a metodologia empregada e a forma de processamento, obteve resultados considerados adequados para a pesquisa, com erros relativos médios<sup>19</sup> com baixos valores e coeficientes de correlação<sup>20</sup> altos. Como o método de seleção obteve um desempenho aceitável, a pesquisa pode prosseguir da maneira planejada.

Os testes realizados no projeto piloto serviram para definir como tratar as variáveis e serão apresentados no decorrer desse trabalho de forma sintética e objetiva. Assim, este trabalho pode tratar exclusivamente da relação entre as variáveis entre si e dessas com o fenômeno. Todos os modelos utilizados no projeto piloto estão no anexo A.

---

19 Erro relativo médio ou AvgError define o grau de reprodutibilidade de uma medida e pode ser expresso por  $AvgError = \Sigma(y_i - x_i) / x_i / n$ , onde y são os valores simulados e x os valores experimentais. O erro relativo fornece a precisão da medida, ou seja, quanto maior o erro menor a precisão e quanto menor o erro maior a precisão.

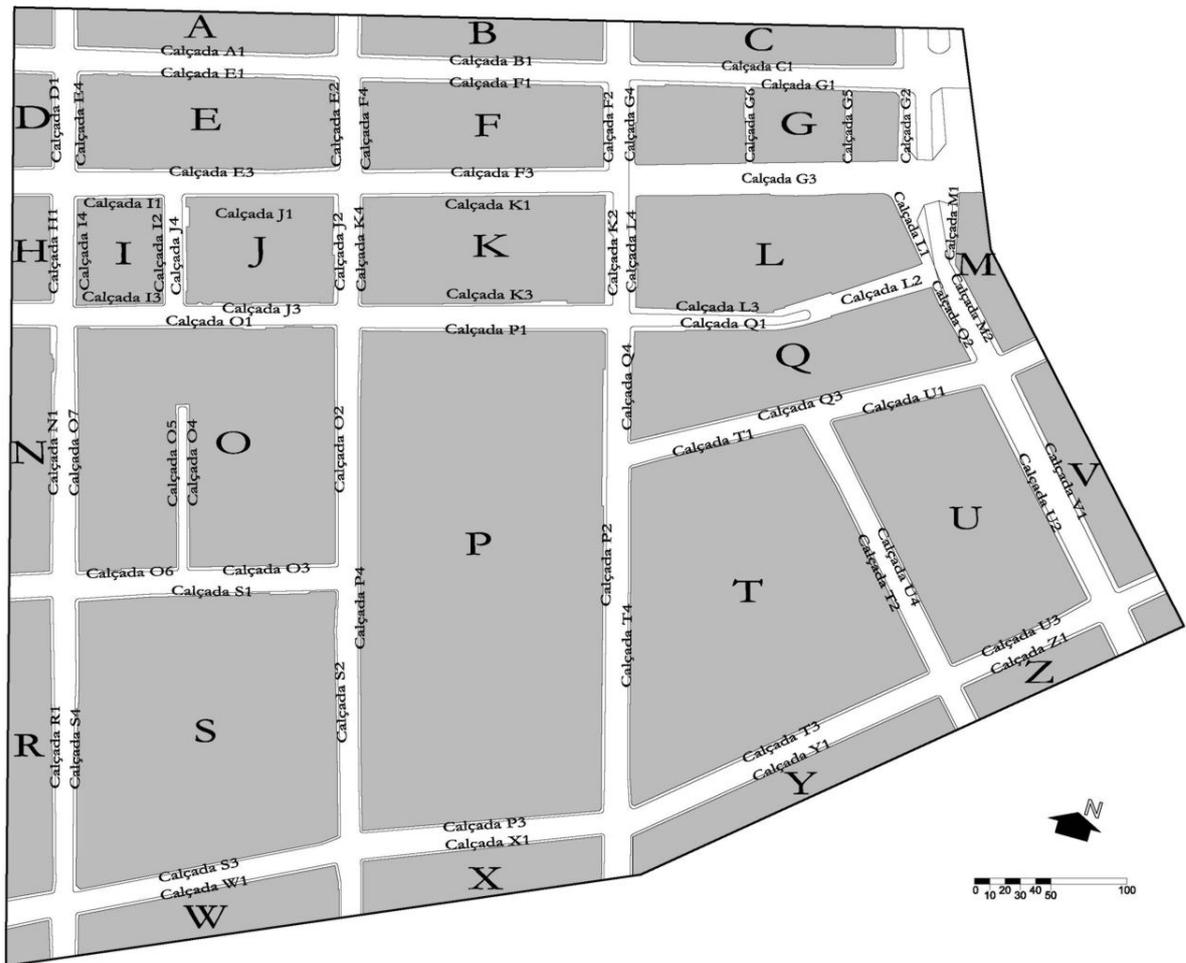
20 Coeficiente de determinação ou R<sup>2</sup>: O quadrado do coeficiente de correlação de Pearson é chamado de coeficiente de determinação ou simplesmente R. É uma medida da proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela variabilidade da outra. É pouco comum que tenhamos uma correlação perfeita (1) na prática, porque existem muitos fatores que determinam as relações entre variáveis na vida real (Shimakura, 2005). Quanto maior a correlação, mais pontos do gráfico de dispersão estão sobre uma linha reta. Um coeficiente de correlação de entre 0,00 a 0,19 significa uma correlação bem fraca ou inexistente, de 0,20 a 0,39 uma correlação fraca, de 0,40 a 0,69 uma correlação moderada, de 0,70 a 0,89 uma correlação forte e de 0,90 a 1,00 uma correlação muito forte. Podemos afirmar que se o coeficiente de determinação de 0,94, significa que estatisticamente 6% do fenômeno não pode ser descrito ou explicado pelas variáveis correlacionadas.



Figura 18 - Mapa da área do projeto piloto, com as linhas de integração global e os níveis de serviço dos passeios selecionados. Fonte: original do autor.

#### 4.3. TÉCNICA DE COLETA DOS DADOS

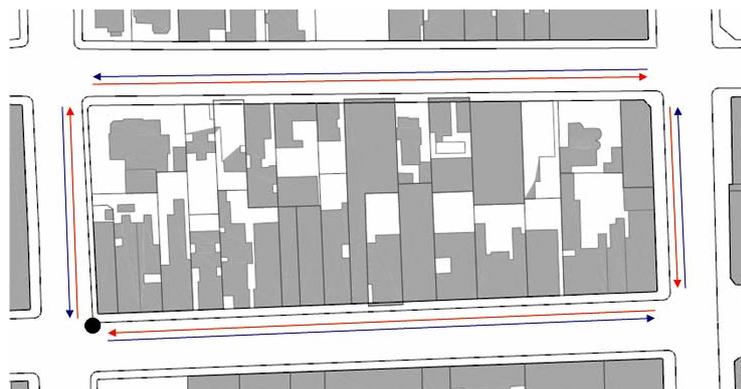
A coleta dos dados ocorreu em duas etapas diferentes. A primeira serviu para testar a metodologia utilizada, consertando eventuais problemas de aplicação e de processamento dos dados. A segunda etapa partiu das experiências agregadas na primeira etapa e consolidou a técnica de coleta dos dados. A área de estudo foi decomposta em quadras e calçadas. As quadras foram nomeadas com letras, partindo do ponto superior esquerdo e aumentando para o lado direito. As calçadas foram identificadas pela letra da quadra e por números, partindo do ponto superior e aumentando em ordem crescente pelo sentido horário (Figura 19). Exemplos que não se enquadravam nesse tipo de nomenclatura foram tratados particularmente, caso a caso.



**Figura 19 - Mapa da área do projeto, com as quadras marcadas por letras e as calçadas por números. Fonte: original do autor.**

#### 4.3.1. Fluxo de pedestres

Foram contados os pedestres parados e em movimento para cada calçada. A contagem dos pedestres foi feita em movimento por dois pesquisadores que partiram de cada uma das extremidades da calçada, isto é, de lados transversamente opostos, contando apenas os pedestres que estivessem de frente para ele (Figura 20).



**Figura 20 - Rota dos pesquisadores para contar os pedestres. Cada um deles representado com uma cor e saindo do mesmo ponto. Fonte: original do autor.**

Para avaliar a diferença de apropriação no uso do espaço, foram distinguidos os pedestres que estavam em movimento dos que estavam parados. Foram considerados parados os pedestres estacionários no momento, isto é, sentados, conversando, olhando vitrinas, etc. A coleta do fluxo foi realizada em cinco períodos diferentes do dia e em cinco dias para cada calçada, resultando em um total de 25 medições em cada calçada por pesquisador, isto é, em cada sentido do trajeto, conforme a tabela abaixo:

**Tabela 2 - Períodos de medição de pedestres. Fonte: original do autor.**

		1º dia	2º dia	3º dia	4º dia	5º dia
1º período	8 às 10h	X	X	X	X	X
2º período	10 às 12h	X	X	X	X	X
3º período	12 às 14h	X	X	X	X	X
4º período	14 às 16h	X	X	X	X	X
5º período	16 às 18h	X	X	X	X	X

Cada pesquisador contou com uma ficha de avaliação onde discriminou cada pedestre, incluíndo-os em uma categoria, como homem, mulher ou criança, e ainda, se estavam parados ou em movimento. Na ficha consta o trecho da contagem, o período e a data da medição para posterior catalogação do

movimento em uma planilha eletrônica.

**Tabela 3 - Ficha de contagem do fluxo de pedestres. Fonte: original do autor.**

Trecho		Período:	Data:
MOVIMENTO	Homens 		
	Mulheres 		
	Crianças 		
PARADO	Homens 		
	Mulheres 		
	Crianças 		

A planilha de texto contém o *output* do modelo (Tabela 3), ou seja, os fluxos de pedestres obtidos para cada calçada, no total e em períodos de tempo. O fluxo consiste no total de pedestres para a área e ainda discriminado em homens, mulheres e crianças, parados e em movimento. Nesse trabalho só se utilizou a soma dos pedestres encontrados e as diferenciações serão utilizadas em pesquisas futuras.

No projeto piloto avaliou-se duas maneiras de utilizar o fluxo de pedestres como *output*, usando um modelo com duas saídas, pedestres em movimento e parados, e a outra criando dois modelos (Tabela 4), um para pedestres em movimento e outro para os parados (Anexo A). A primeira maneira, com saídas separadas, teve o desempenho um pouco menor do que os modelos separados em dois. Esses conseguem um melhor resultado por dissociarem os dados. Assim, um atributo que influencia mais um tipo de modelo pode não interferir tanto em outro modelo. Da mesma maneira, os métodos de análise dos dados como o de Garson<sup>21</sup> ou a replicação do modelo em planilhas eletrônicas só podem ser feitos com uma saída. Por esses motivos, se escolheu trabalhar os

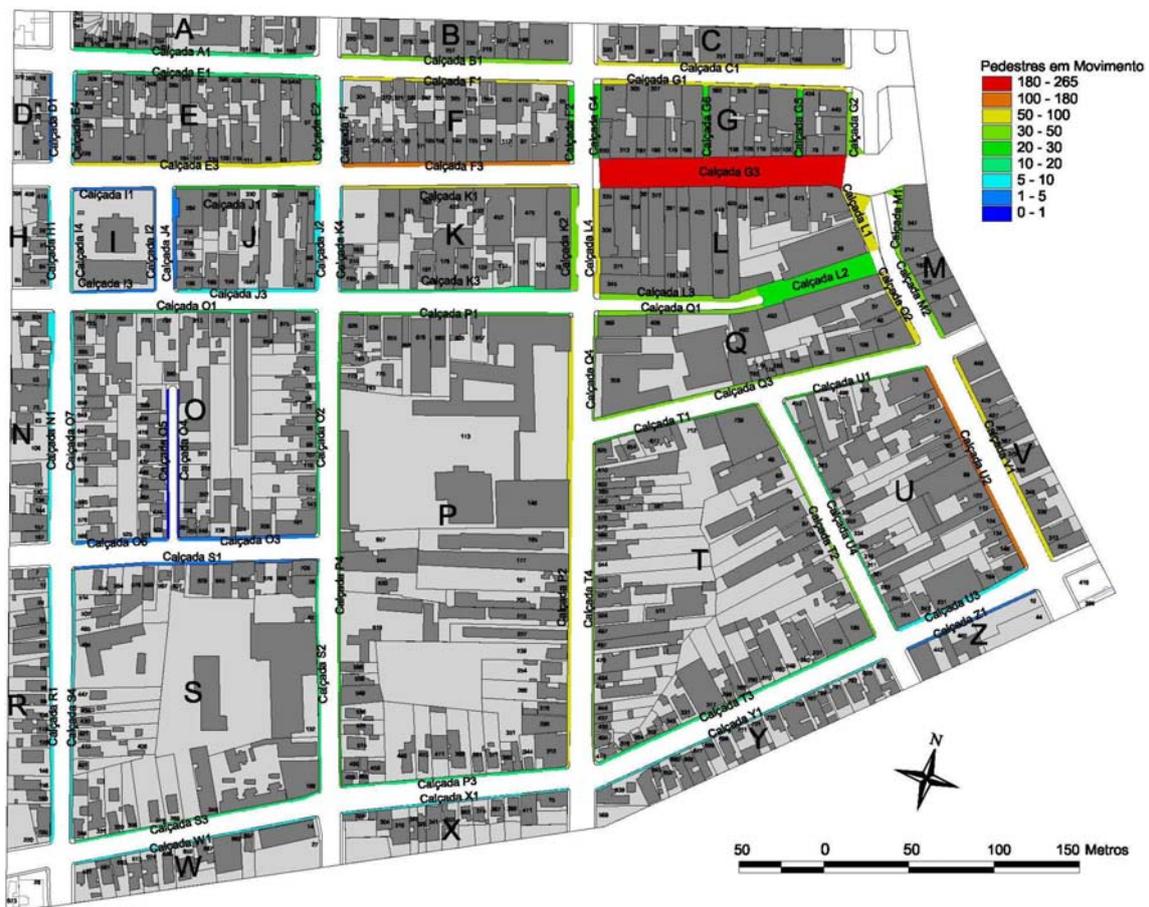
<sup>21</sup> Esse método consiste em particionar os pesos sinápticos entre a camada intermédia e a final da rede neural artificial em componentes associados a cada nó de entrada. Assim, o peso resultante em cada saída demonstra o grau de importância de cada variável.

modelos com saídas separadas.

**Tabela 4 - Resultado do teste piloto para o fluxo de pedestres. Fonte: original do autor.**

Cenários de teste	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par	Erro
Cenário1: Duas saídas - Sintaxe - total movimento, total parado	0.9305	0.9286	0.0880
Cenário2: Uma saída - Sintaxe - total movimento	0.9500	-	0.1170
Cenário3: Uma saída - Sintaxe - total movimento total parado	-	0.9028	0.0653
Cenário1: Duas saídas - MDs - total movimento, total parado	0.6279	0.7571	0.1657
Cenário2: Uma saída - MDs - total movimento	0.7770	-	0.1271
Cenário3: Uma saída - MDs - total movimento total parado	-	0.8050	0.1867

O resultado dessa análise originou os mapas temáticos de pedestres em movimento (Figura 21) e pedestres parados (Figura 22) que são apresentados a seguir.



**Figura 21 - Mapa temático do fluxo de pedestres em movimento. Fonte: original do autor.**

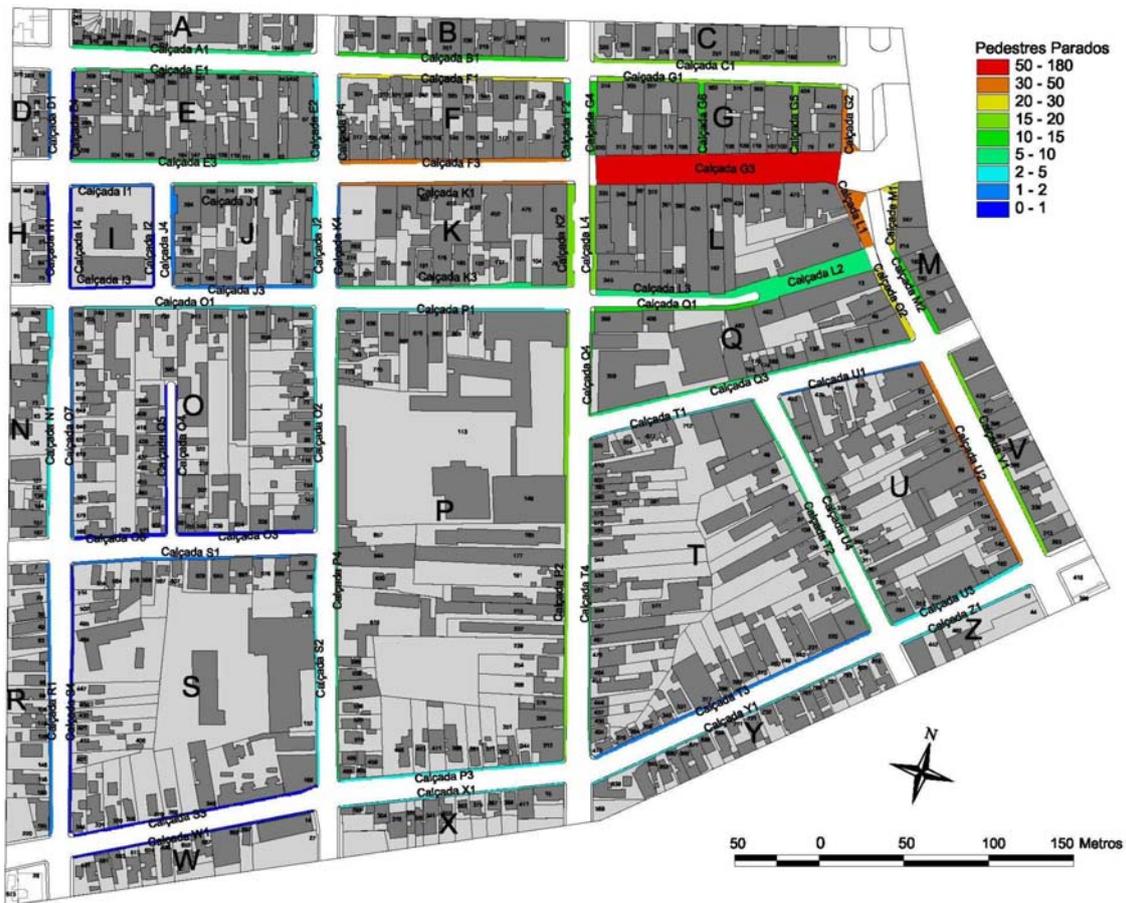


Figura 22 - Mapa temático do fluxo de pedestres parados. Fonte: original do autor.

#### 4.3.2. Análise sintática do espaço

A sintaxe espacial possui métodos distintos de análise do espaço urbano. Cada um deles traz a necessidade de uma metodologia de coleta específica, e ainda, casos específicos, como os atratores, não apresentam na bibliografia uma maneira comprovada para realizar a coleta. Por essa razão, o processo de obtenção das variáveis foi dividido em três e será apresentado a seguir.

##### 4.3.2.1. Espaço convexo

Na área de estudo adotada para o trabalho existem dois tipos de espaços convexos: os constituídos, que apresentam grande número de ligações entre a

área pública e a privada, e os desconstituídos que possuem pouca ou nenhuma ligação entre esses espaços.

As constituições fazem a ligação entre a parte privada do sistema com a pública e são responsáveis por reforçar o carregamento potencializado pelos atratores. Desse modo, mesmo que uma calçada tenha muitos atratores e a configuração urbana apresente atributos morfológicos favoráveis, se ela não for bem constituída, as edificações não são capazes de “alimentar” os espaços públicos, e o fluxo de pedestres se torna dependente de outras calçadas e suas ligações.

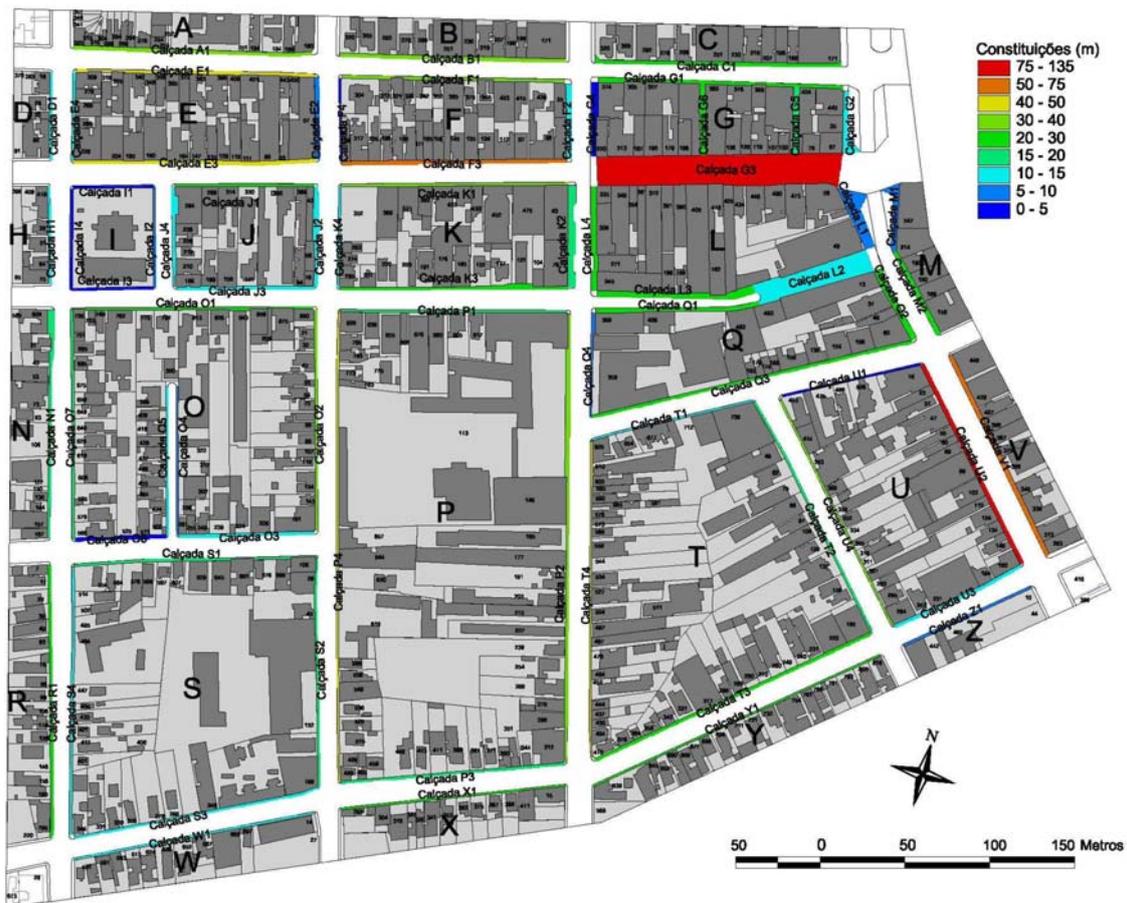
Para essa área, quantificaram-se as constituições de dois modos: em metros lineares e em unidades, ambas tomadas em relação a cada calçada. No projeto piloto, foram feitas comparações entre dois modelos com cada uma das saídas, para estimar qual delas apresentaria melhores resultados. Essa análise foi feita, pois não se pode criar um modelo com duas variáveis “constituições” e com valores diferentes. As redes neurais artificiais não trabalham muito bem com variáveis idênticas em definição. Isso pode acarretar um grande ruído nos dados, baixando as correlações entre as variáveis e aumentando o erro médio consideravelmente. No entanto, essa diferenciação também foi feita para testar qual delas apresenta o melhor resultado. Pois se as correlações maiores forem com as constituições em metros, significaria que o tamanho das ligações tem uma importância maior de carregar o passeio. Da mesma forma, se as correlações forem melhores com as constituições em unidades, determinaria que para melhorar o carregamento do fluxo, há necessidade de um número maior de interfaces entre a calçada e as edificações.

Em ambos os testes, com pedestres em movimento e parados (Tabela 5), realizados no projeto piloto (Anexo A), os melhores valores dos coeficientes de correlação e o menor do erro relativo médio foram obtidos utilizando-se o valor das constituições em metros. As constituições tomadas em metros determinam que os exemplos utilizados explicam melhor o potencial de

carregamento dos passeios com pedestres, através do “tamanho” dimensional do vínculo existente entre a parte pública e a privada. Embora o número físico das constituições tenha um grande potencial explicativo do fenômeno da movimentação peatonal, ele obteve uma correlação menor neste caso. Ficou determinada, assim, a utilização das constituições em metros. O resultado dessa análise originou mapas temáticos das constituições em metros (Figura 23) e em unidades (Figura 24).

**Tabela 5 - Cenários de teste da variável ‘constituições’. Fonte: original do autor.**

Cenários de teste	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par	Erro
Cenário 4: Constituições em metros	0.9915	-	0.0923
Cenário 5: Constituições em unidades	0.9757	-	0.0977
Cenário 6: Constituições em metros	-	0.9463	0.0681
Cenário 7: Constituições em unidades	-	0.9150	0.0837



**Figura 23 - Mapa temático da variável ‘constituições’ em metros. Fonte: original do autor.**

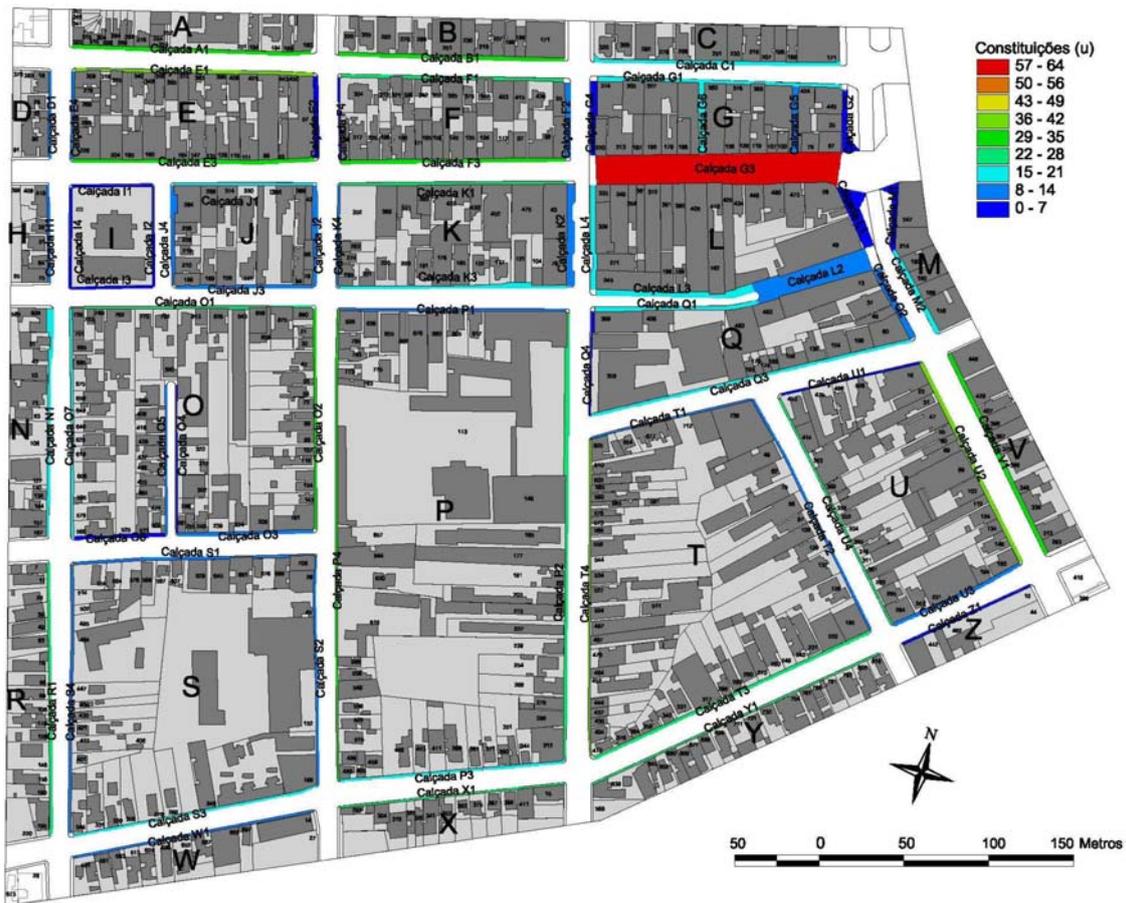


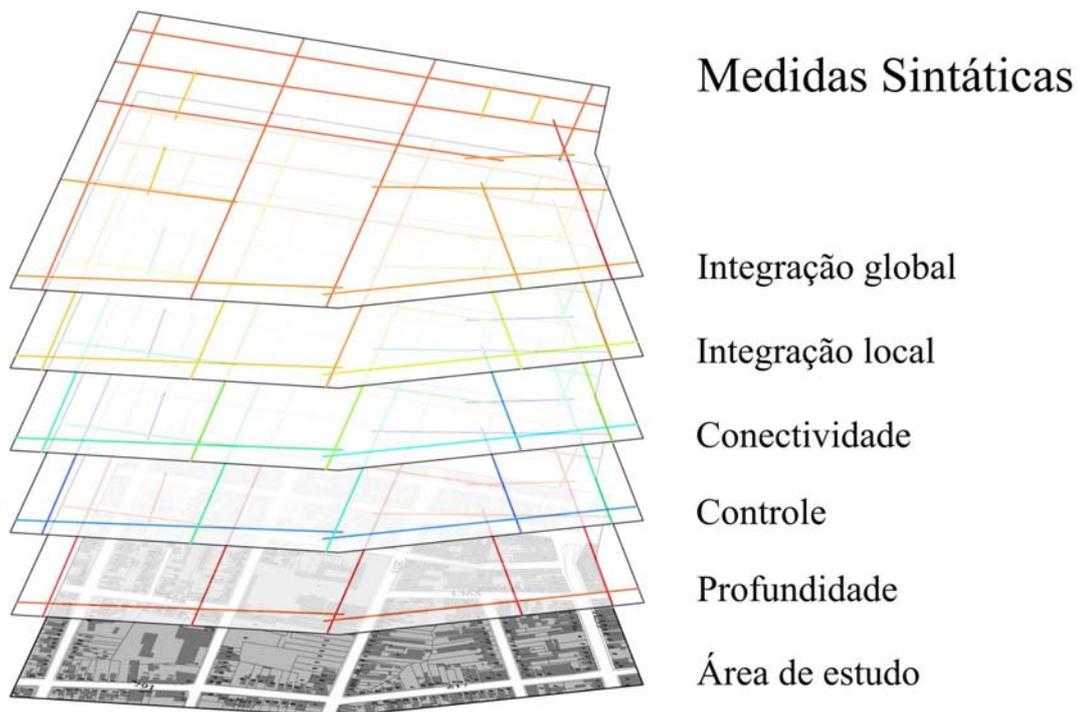
Figura 24 - Mapa temático da variável 'constituições' em unidades. Fonte: original do autor.

#### 4.3.2.2. Mapa axial

O mapa axial processado foi obtido através da pesquisa de Salomoni (2006) sobre o crescimento urbano por extensão e suas repercussões morfológicas em estruturas urbanas, realizado na cidade de Santa Maria-RS. Para fazer um mapa axial, são traçadas linhas axiais que atravessam a maior quantidade de espaços convexos possíveis sem haver nenhuma deflexão nelas. Depois de traçado, o mapa axial é processado pelo programa *Axman*, que analisa as relações entre as linhas axiais através de algoritmos matemáticos que calculam as medidas sintáticas que o desenho urbano possui.

A produção do mapa axial é importante pelo grande número de linhas e de conexões entre elas, além de sua interface gráfica facilitar o entendimento da

estrutura da cidade por suas caracterizações de distinção de cores entre as informações contidas nas linhas. Com essas informações, compreende-se as características configuracionais do sistema urbano como um todo, e como as diversas partes dele interagem. O mapa axial decompõe as variáveis encontradas no espaço como “camadas”, contendo em cada uma suas propriedades específicas (Figura 25).



**Figura 25 - Esquema das medidas axiais decompostas da área de estudo. Fonte: original do autor.**

Dos mapas axiais foram criados mapas temáticos indicando os valores configuracionais da ‘integração global’ (Figura 26), ‘integração local’ (Figura 27), ‘conectividade’ (Figura 28), ‘controle’ (Figura 29) e ‘profundidade’ (Figura 30) aplicados nos passeios da área de estudo.

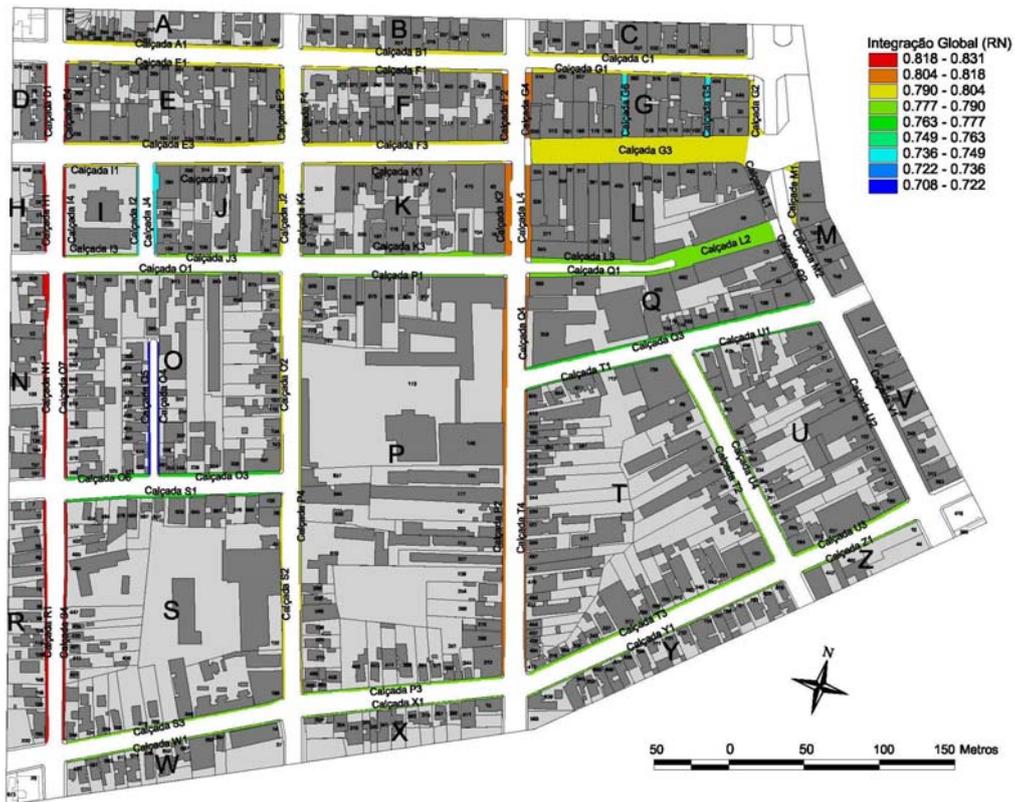


Figura 26 - Mapa temático da medida sintática 'integração global'. Fonte: original do autor.

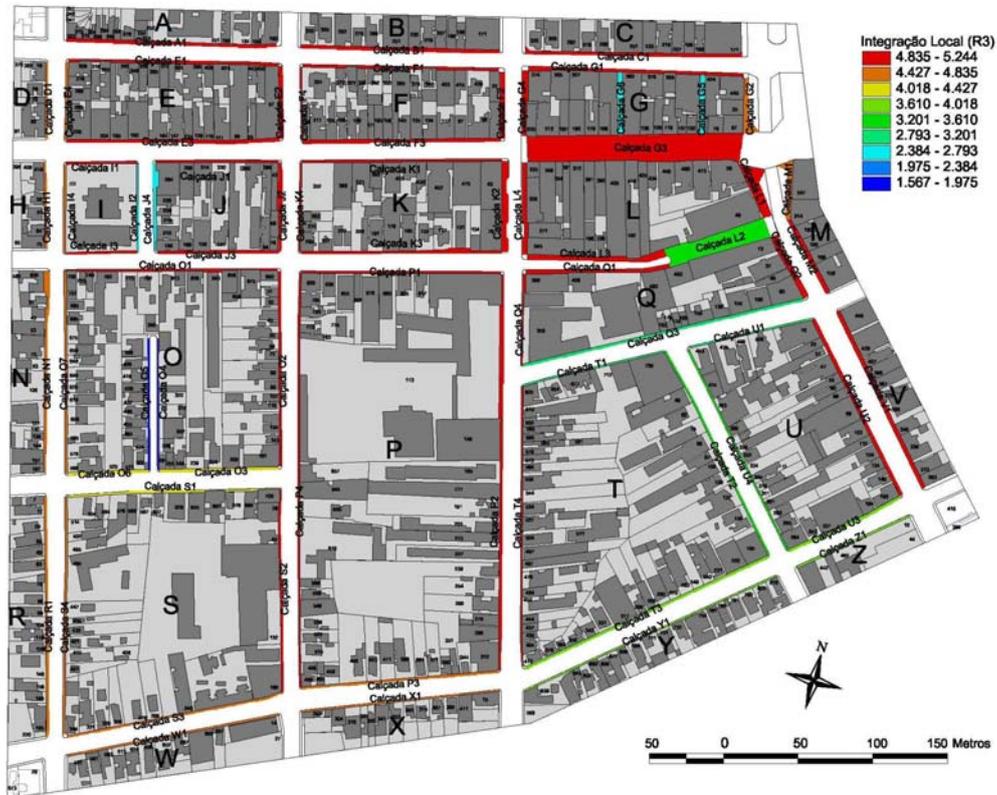


Figura 27 - Mapa temático da medida sintática 'integração local'. Fonte: original do autor.

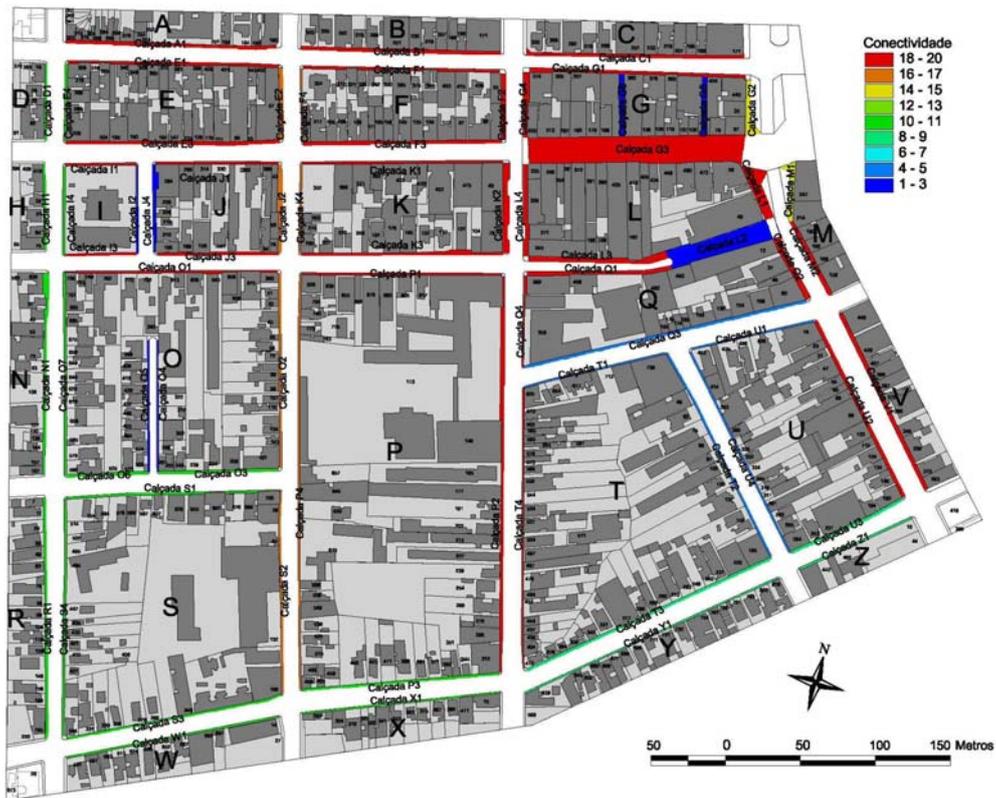


Figura 28 - Mapa temático da medida sintática 'conectividade'. Fonte: original do autor.



Figura 29 - Mapa temático da medida sintática 'controle'. Fonte: original do autor.



Figura 30 - Mapa temático da medida sintática 'profundidade'. Fonte: original do autor.

#### 4.3.2.3. Atratores

Os atratores, como visto anteriormente, formam a parte privada do sistema urbano e, desse modo, são implementados pela sociedade para suprir as suas necessidades. A população demanda tipologias de atratores específicos, como, por exemplo, a moradia. No entanto, a demanda cria outras necessidades, como as escolas, supermercados, hospitais, comércio, etc.

A função morar é descrita em muitos modelos urbanos como a primeira necessidade da população. Para atender à população estabelecida surge o comércio e a prestação de serviços. Esses últimos situam-se em lugares acessíveis à maioria dos moradores, procurando as ruas com maior nível de integração. Segundo a sintaxe espacial, os atratores funcionam como multiplicadores das propriedades da malha urbana, aumentando sua capacidade de gerar encontros e movimento de pedestres.

A área escolhida para esse trabalho conta com uma grande diversidade de usos do solo. O pedestre que se locomove por essa área percebe uma variação grande no entorno entre uma rua e outra. Esse tipo de característica também é encontrada em muitas outras cidades de tecido tradicional. O comércio varejista desenvolve suas formas a partir do raio de abrangência dos grandes empreendimentos comerciais, bem como das pequenas lojas ao longo do caminho. Alguns segmentos possuem edifícios de escritórios e outros serviços profissionais. Nas porções residenciais encontram-se áreas com uma vizinhança bem definida por aglomerados de casas unifamiliares. Em toda a área do trabalho existem residências conformadas por apartamentos e unidades condominiais, em edificações específicas ou de uso misto. Os outros usos encontrados nessa área foram igrejas, bancos, delegacias, concessionárias, restaurantes, bares, faculdades, escolas, entre outros.

Como os atratores têm tanta importância para o movimento peatonal que podem chegar a ultrapassar o efeito da configuração (Hillier, 1994), buscou-se aplicar os carregamentos potenciais de cada um deles diretamente no passeio em que se encontrava a interface de ligação. Quando existiam portas para mais de uma calçada, o valor do atrator foi igualmente distribuído para cada calçada. Os atratores foram discriminados em tipologias conforme os encontrados no local, como residencial, comercial, serviços e outros usos. Esses últimos caracterizaram as exceções de usos encontrados na área, como, por exemplo, áreas institucionais, atividades sociais, entre outras. Para cada atrator foi registrada, além de sua tipologia, sua área edificada em metros quadrados e a quantidade de unidades por edificação. Foram ainda separados os atratores que se situavam no térreo e os de outros pavimentos. Essa abordagem foi utilizada porque os atratores térreos poderiam influenciar mais o movimento de pedestres por possuírem constituições ligando-os diretamente ao passeio, enquanto os atratores de outros pavimentos estão condicionados geralmente a uma interface separada que os liga juntos ao passeio e não possuem vínculo direto. Os mapas das

quadras que mostram a localização da edificação no lote e os dados relativos aos atratores foram retirados do cadastro imobiliário da secretaria da fazenda do município de Santa Maria, e depois digitalizados em mapas (Figura 31) e planilhas eletrônicas.



**Figura 31 - Mapa *noli* da área de estudo com os lotes e edificações da área. Fonte: original do autor.**

Não existe uma metodologia que indique especificamente como os atratores devem ser coletados e quais características devem ser abordadas para relacioná-los com o fluxo de pedestres. Assim, para saber como os atratores devem ser utilizados para este tipo de trabalho foram coletadas suas características e comparadas com o fluxo de pedestres. No projeto piloto foram testadas as possibilidades de arranjo entre essa variável e seus atributos, de modo

a entender como se davam as relações entre o fluxo de pedestres e os atratores (Anexo A). Desse teste, foi escolhido entre utilizar os atratores pela sua área em metros quadrados ou em unidades, e, ainda, se era melhor utilizá-los segregados em térreo e outros pavimentos ou simplesmente colocar sua área total.

No cenário em que o output é o número de pedestres em movimento, a variável representada pelos atratores em metros foi mais significativa, obtendo um coeficiente de determinação maior e erro absoluto médio menor (Tabela 6). Quanto aos pedestres parados, o melhor resultado foi o dos atratores em unidades, tanto nos coeficientes de correlação quanto no erro absoluto médio. Então, para o modelo final serão utilizados os atratores em metros para pedestres em movimento e, em unidades, para os pedestres parados.

**Tabela 6 - Cenários de teste da variável ‘Atratores’. Fonte: original do autor.**

Cenários de teste	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par	Erro
Cenário 4: Atratores em metros	0.9915	-	0.0923
Cenário 8: Atratores em unidades	0.9736	-	0.1014
Cenário 6: Atratores em metros	-	0.9463	0.0681
Cenário 9: Atratores em unidades	-	0.9618	0.0640

A interface que liga os atratores aos passeios é relacionada à sua dinâmica, ou seja, com a possibilidade existente de se vincular diretamente ou não ao sistema público. Os atratores que estão localizados em um pavimento térreo têm uma maior interação com o passeio; por outro lado, aqueles localizados em outros pavimentos necessitam de circulações comuns para serem acessados. A questão principal desse teste foi descobrir quais, entre as possibilidades de arranjo, são mais favoráveis aos atratores, indicando os melhores resultados quando são discriminados em térreos e outras áreas ou somente com sua soma total (Tabela 7).

**Tabela 7 - Cenários de teste da variável 'Atratores'. Fonte: original do autor.**

Cenários de teste	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par	Erro
Cenário 04: Soma das áreas dos atratores	0.9915	-	0.0923
Cenário 10: Área dos atratores diferenciados em térreo e outros	0.9613	-	0.1109
Cenário 11: Área dos atratores térreos	0.9830	-	0.0809
Cenário 12: Área dos atratores de outros pavimentos	0.9710	-	0.0952
Cenário 09: Soma das unidades dos atratores	-	0.9618	0.0640
Cenário 13: Unid. dos atratores diferenciados em térreo e outros	-	0.9813	0.0532
Cenário 14: Unid. dos atratores térreos	-	0.9896	0.0333
Cenário 12: Unid. dos atratores de outros pavimentos	-	0.9888	0.0344

Os resultados desse teste indicaram que, para os pedestres em movimento, os melhores resultados foram obtidos utilizando a soma total das áreas dos atratores, sem discriminação entre áreas do pavimento térreo e dos outros pavimentos. Assim, podemos inferir que a dinâmica maior que existe na ligação entre o pavimento térreo e a calçada não afetou diretamente o fluxo de pedestres em movimentação na cidade de Santa Maria. No caso dos pedestres parados, a correlação foi quase idêntica entre todas elas, sendo um pouco maior, ou seja, 0,0086, quando foram discriminados os atratores do térreo e aqueles dos outros pavimentos. As correlações maiores se deram quando analisados separadamente, os atratores do térreo e dos outros pavimentos. Como se trata de uma diferença sem peso estatístico relevante, será utilizada a soma dos atratores ao invés deles discriminados, pela facilidade de concepção do modelo. Os mapas temáticos em metros dos atratores: residenciais (Figura 32), comerciais (Figura 33), de serviço (Figura 34) e outros atratores (Figura 35); e em unidades: residenciais (Figura 36), comerciais (Figura 37), de serviço (Figura 38) e outros atratores (Figura 39) são apresentados a seguir.

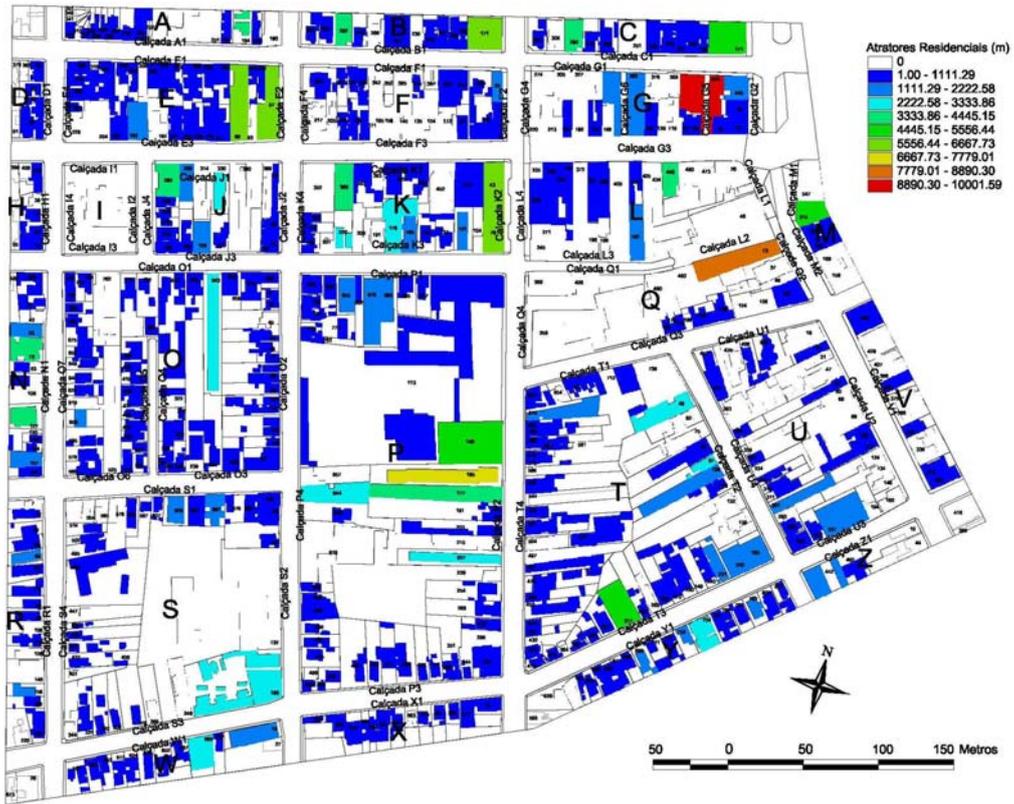


Figura 32 - Mapa temático dos 'atratores residenciais' em metros. Fonte: original do autor.

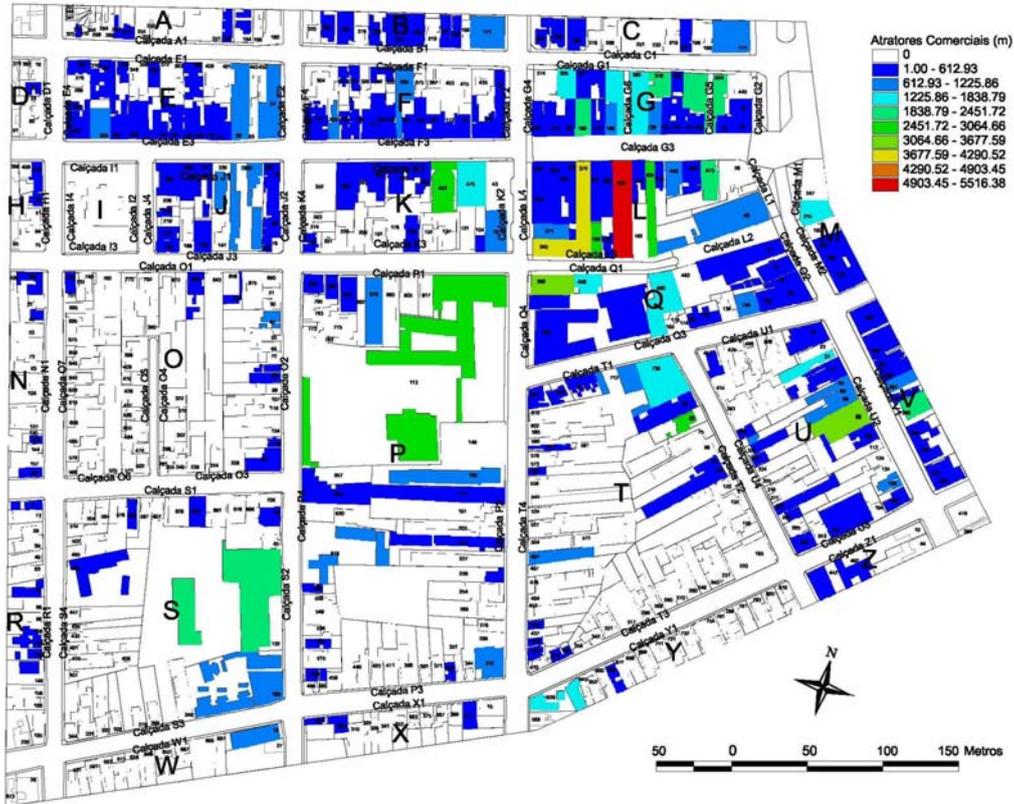


Figura 33 - Mapa temático dos 'atratores comerciais' em metros. Fonte: original do autor.

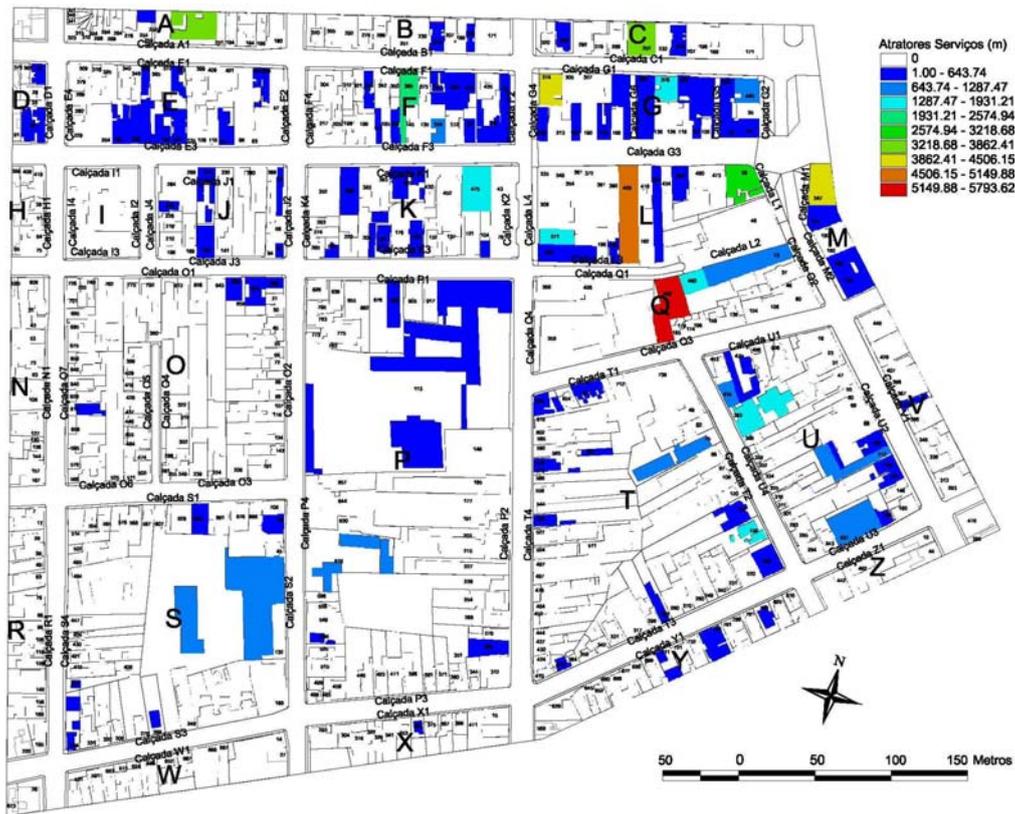


Figura 34 - Mapa temático dos 'atratores serviço' em metros. Fonte: original do autor.

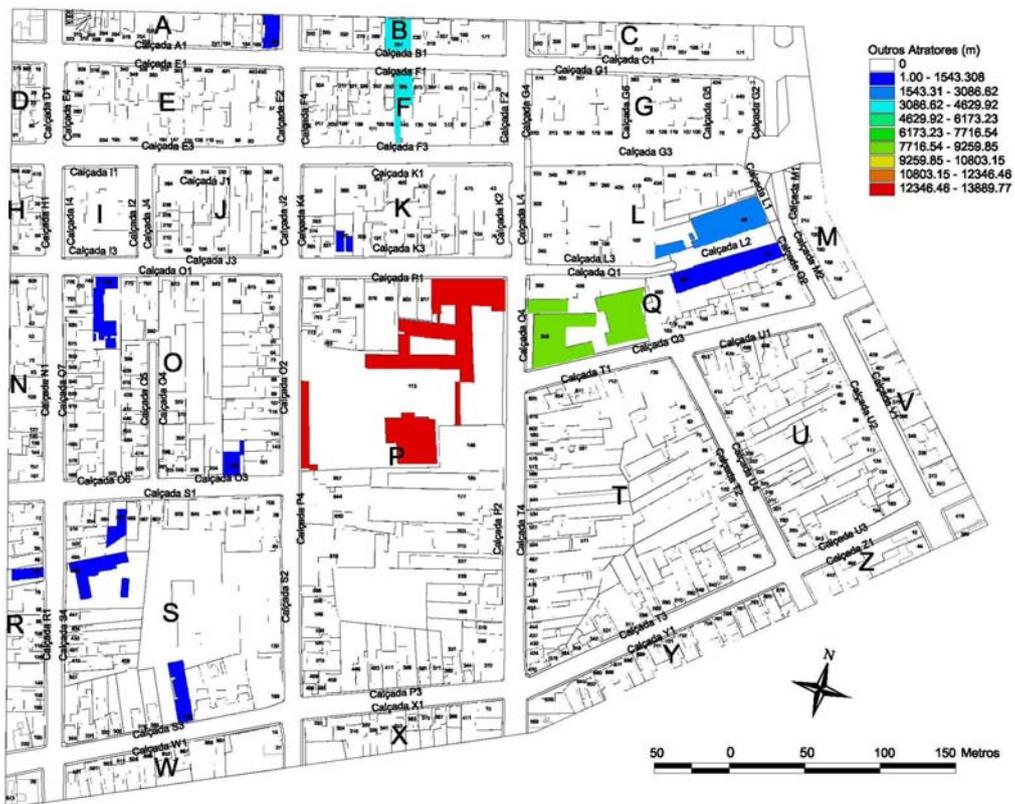


Figura 35 - Mapa temático dos 'outros atratores' em metros. Fonte: original do autor.

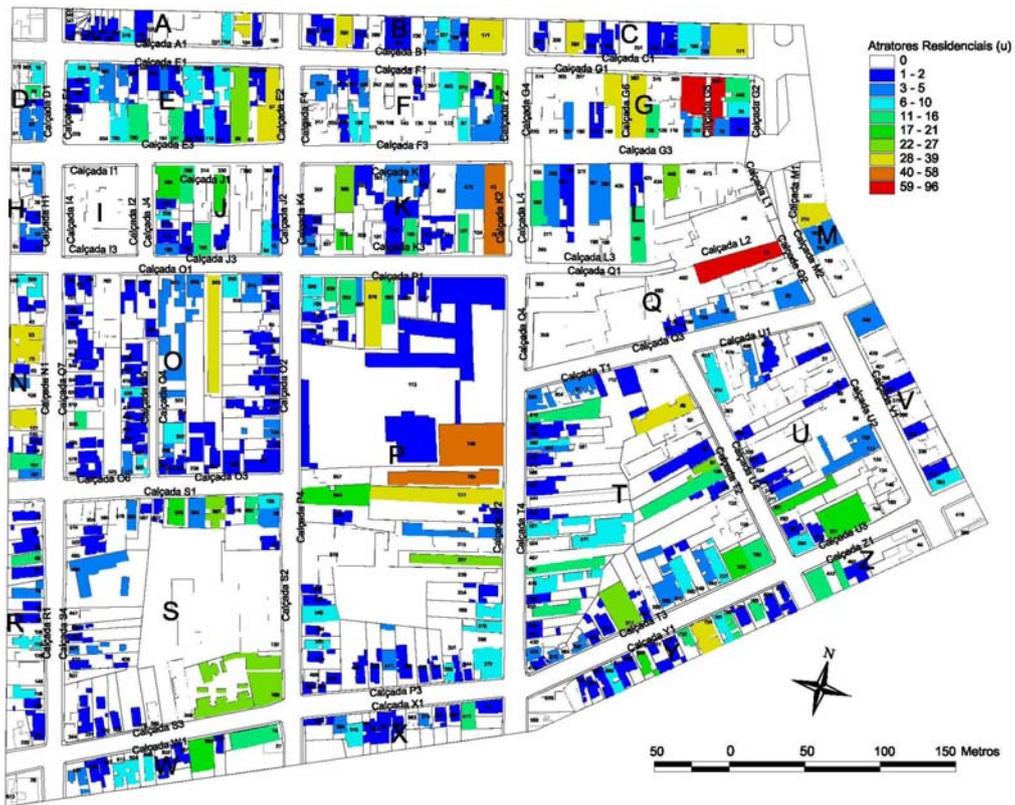


Figura 36 - Mapa temático dos 'atratores residenciais' em unidades. Fonte: original do autor.

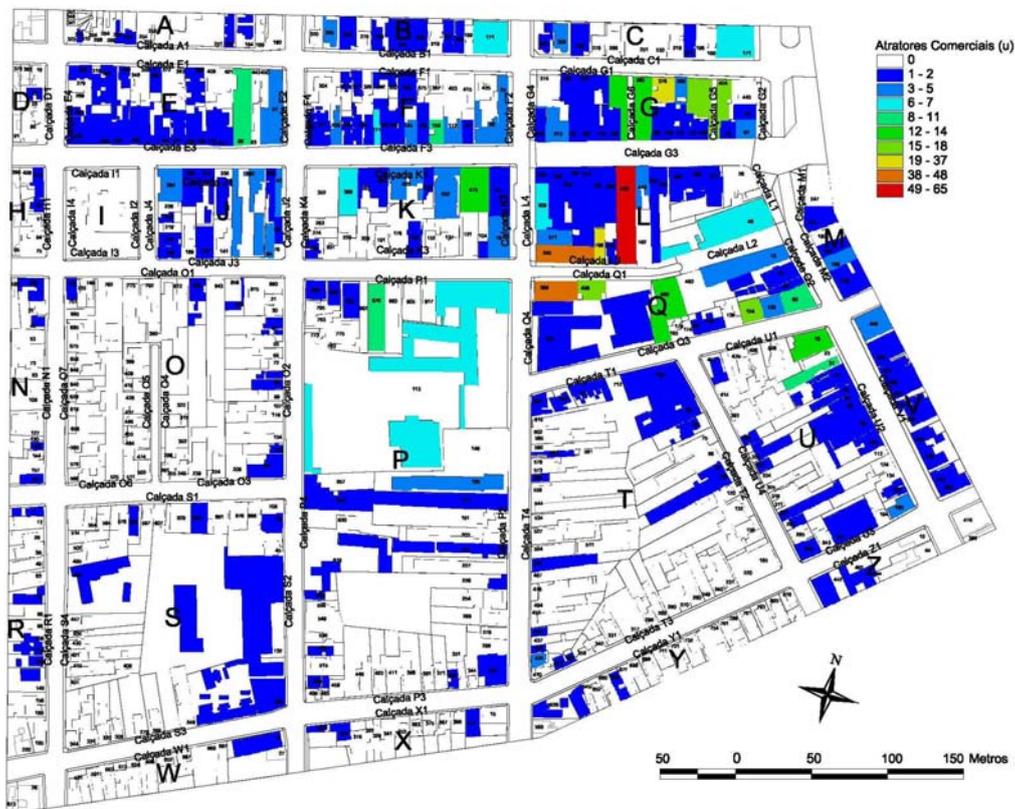


Figura 37 - Mapa temático dos 'atratores comerciais' em unidades. Fonte: original do autor.



Figura 38 - Mapa temático dos 'atratores serviço' em unidades. Fonte: original do autor.

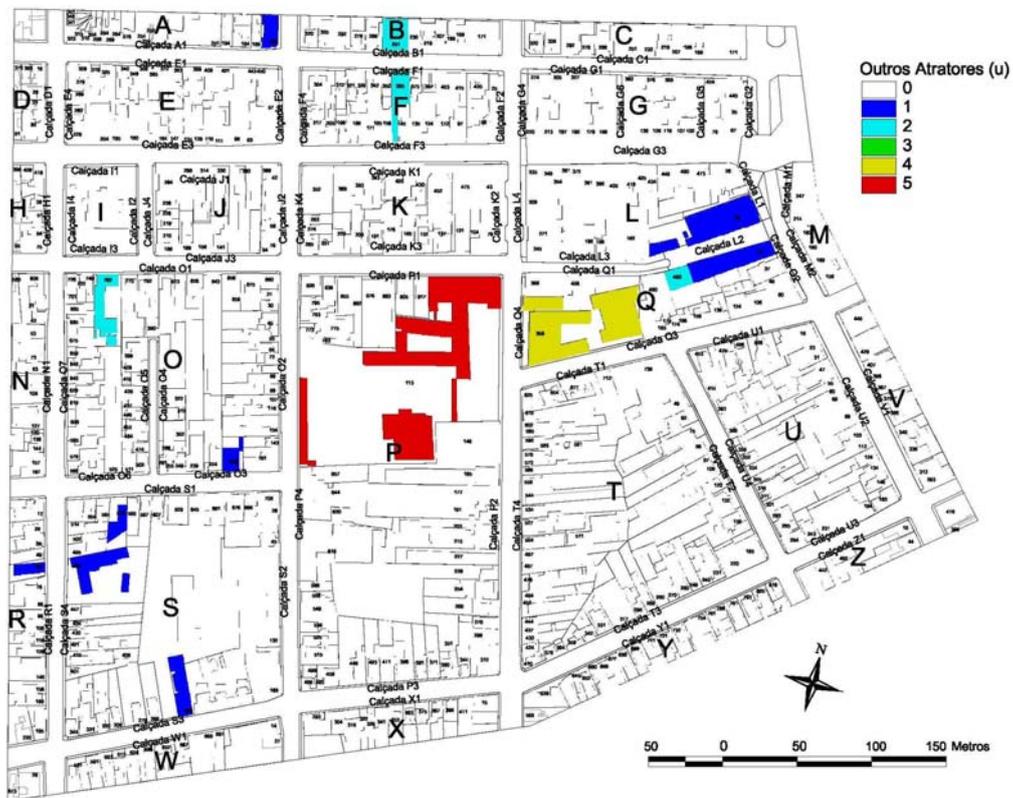


Figura 39 - Mapa temático dos 'outros atratores' em unidades. Fonte: original do autor.

Esse teste resultou na constatação de que, na cidade de Santa Maria, os atratores localizados nos outros pavimentos, possuem uma associação tão grande com o fluxo de pedestres como aqueles do pavimento térreo. Desse modo, pode-se concluir que nessa cidade ainda existe um deslocamento de pedestres impulsionado por esse tipo de atrator. O que explica, de certa forma, o valor do imóvel urbano de outros pavimentos manter-se estável. Em cidades com dinâmicas diferentes, como é o caso de Porto Alegre, o valor do solo urbano, na área central, em pavimentos superiores, tem-se desvalorizado, e a dinâmica da movimentação está cada vez menos associada a esse tipo de atrator.

#### 4.3.3. Medidas de desempenho

O nível de serviço pode avaliar uma calçada tanto quantitativa quanto qualitativamente. No primeiro caso, as variáveis físicas do passeio, largura e comprimento, podem ser mensuráveis, e sua coleta é facilmente realizada através de medições in loco ou a partir de bases de dados cartográficas (Figura 40 e 41). No segundo caso, são determinados quais os atributos de análise qualitativa do espaço são aplicáveis à área de estudo. Eles são agrupados por semelhança de suas características em medidas de desempenho, variando entre a melhor e a pior qualidade da medida de desempenho e não do atributo. Desse modo, são construídas fichas de avaliação que variam de 5 pontos, a melhor avaliação possível, até 0, a pior.

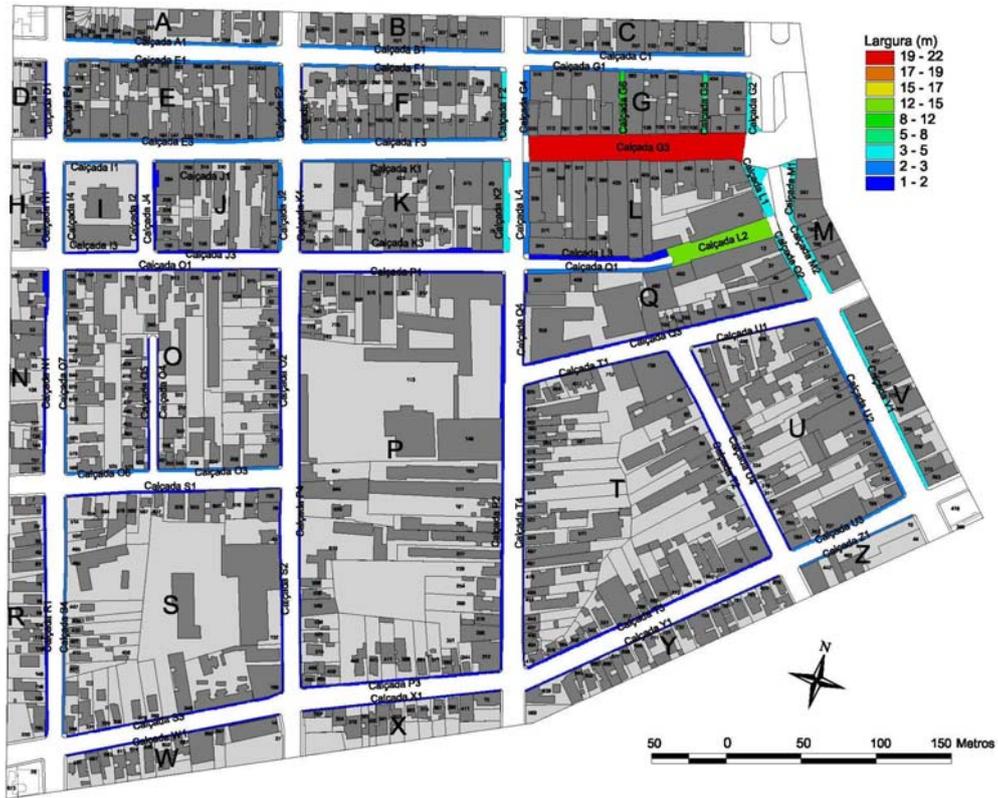


Figura 40 - Mapa temático da variável 'largura'. Fonte: original do autor.

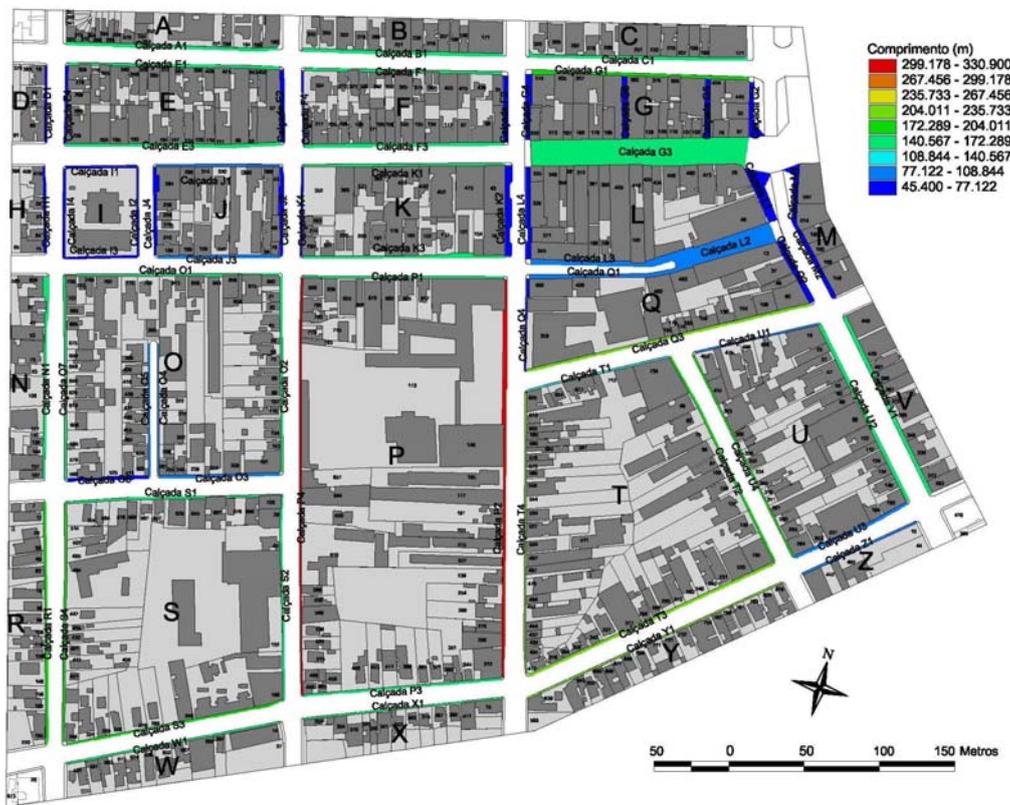


Figura 41 - Mapa temático da variável 'comprimento'. Fonte: original do autor.

As medidas de desempenho são utilizadas para avaliar uma área urbana quanto à condição de seus passeios. O avaliador se locomove no espaço a ser avaliado, enquadrando o passeio a uma das categorias contidas em cada MD na ficha de avaliação. O método para ponderar as apreciações dos avaliadores é segundo as prioridades apontadas pelos pedestres. Para realizar a ponderação, são entregues questionários à população da área a ser estudada, para que identifiquem quais as prioridades quanto ao desempenho dos passeios. Os pedestres responderam os questionários diretamente na rua no momento em que eram abordados.

Desse modo, um passeio terá seu desempenho de acordo com a soma das notas do avaliador para cada MD, ponderada pela pesquisa dos pedestres, resultando em um nível de serviço do passeio que pode ser de 'A', o melhor passeio, até 'F', o pior. A seguir será explicado pormenorizadamente o método de avaliação dos níveis de serviço, bem como a adequação feita para este trabalho.

#### 4.3.3.1. Adequação dos atributos

Na metodologia proposta por Khisty (1994), os atributos são agrupados em medidas de desempenho, e o avaliador do passeio analisa juntamente todos os atributos em uma única nota, conforme exemplo da tabela 8 a seguir.

Nesta pesquisa foram utilizados dois arquitetos e urbanistas para avaliar cada passeio em cada uma das fases do trabalho (projeto piloto e parte final). Por sua formação eles estão aptos a entender determinados conceitos utilizados neste método. Foi constatado que o afastamento do autor, na parte inicial da avaliação dos passeios, permitiu julgar melhor o método quanto às dificuldades dos técnicos, que não possuíam um conhecimento aprofundado do tema. Eles puderam relatar as facilidades e dificuldades do método aplicado, bem como questionar a experiência vivida de uma maneira diferenciada. Das duas notas

dadas foi feita uma média para tentar diminuir os erros ocorridos pelas opiniões pessoais.

**Tabela 8 - Exemplo de uma ficha tradicional de avaliação da medida de desempenho atratividade.**  
**Fonte: Adaptado de Khisty (1994), Ferreira e Sanches (2001) e Silva (2004).**

### **Atratividade**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Ambiente agradável e bem cuidado, projetado com muito espaço destinado a vivência e sociabilização. Calçadas ao lado de parques, praças, bosques, etc.	5
Ambiente agradável, com espaços destinados a vivência e sociabilização. Calçadas ao lado de residências com muros baixos, jardins e comércio com vitrinas atraentes.	4
Ambiente com algum espaço destinado à vivência e sociabilização. Calçadas ao lado de residências com muros altos e comércio sem vitrinas e sem atrações.	3
Ambiente pouco atraente, sem espaços destinados a vivência ou sociabilização. Calçadas ao lado de grandes construções de uso comercial de grande porte (atacadista).	2
Ambiente sem nenhuma preocupação com aspectos estéticos e visuais. Calçadas ao lado de construções sem acessos.	1
Ambiente inóspito para pedestres. Calçadas ao lado de terrenos baldios ou de construções sem acesso.	0

Com essa ficha de avaliação, o passeio, mesmo tendo características distintas nos atributos que compõem a MD, recebe uma única nota pelo conjunto dos atributos. Ao ser testada quanto a sua aplicação, essa técnica se mostrou muito demorada e confusa, pela quantidade de atributos agregados em cada MD e a diferença entre eles. O avaliador relatou ficar receoso quanto à nota dada, pois, segundo ele, algumas vezes um atributo que era mais importante induzia na nota de toda a MD, fazendo com que ela pendesse mais para cima ou para baixo.

Assim, além da dificuldade de aplicação da ficha de avaliação, ela faz com que, ao avaliar o passeio através de uma nota, exista a possibilidade de contradição pela diferença entre os atributos que podem ser encontrados no local. Tomando como exemplo a tabela 4 acima, um passeio pode estar situado num “ambiente projetado, agradável e com vários espaços destinados a vivência e a sociabilização”, mas, mesmo assim, estar ao lado de construções sem acesso.

Para facilitar o trabalho do avaliador do passeio, a solução encontrada foi considerar cada atributo dentro da MD separadamente. São dadas notas

relativas apenas ao atributo considerado, e a média das notas deles perfazem a medida de desempenho conforme a tabela 9.

**Tabela 9 - Exemplo de uma ficha de medida de desempenho segregada atratividade. Fonte: original do autor.**

## **Atratividade**

### **Características visuais do espaço**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Ambiente muito agradável e bem cuidado	5
Ambiente agradável.	4
Ambiente pouco agradável	3
Ambiente pouco atraente	2
Ambiente sem nenhuma preocupação com aspectos estéticos e visuais.	1
Ambiente inóspito para pedestres.	0

### **Características sociais do espaço**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Ambiente projetado com muito espaço destinado a vivência e sociabilização.	5
Ambiente com espaços destinados a vivência e sociabilização.	4
Ambiente com algum espaço destinado a vivência e sociabilização.	3
Ambiente com poucos espaços destinados a vivência ou sociabilização.	2
Ambiente sem espaços destinados a vivência ou sociabilização.	1
Ambiente inóspito para pedestres.	0

### **Características visuais do entorno**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Calçadas ao lado de parques, praças, bosques, etc.	5
Calçadas ao lado de residências com muros baixos, jardins e/ou comércio com vitrinas atraentes.	4
Calçadas ao lado de residências com muros altos e/ou comércio sem vitrinas e sem atrações.	3
Calçadas ao lado de grandes construções de uso comercial de grande porte.	2
Calçadas ao lado de construções sem acessos.	1
Calçadas ao lado de terrenos baldios ou de construções sem acesso.	0

No projeto piloto, foram comparadas as notas das calçadas a partir de ambas as tabelas de avaliação. Como houve diferenças entre elas, poderia ser inviabilizado o uso do segundo tipo, pois, ao avaliar cada atributo individualmente, houve uma pequena mudança no método original proposto por Khisty (1994). Com intenção de quantificar essa diferença, foi feita uma análise do coeficiente de correlação simples entre os dois conjuntos de dados

apresentados na tabela 10.

**Tabela 10 - Correlação entre os resultados obtidos através das fichas de avaliação das medidas de desempenho segregadas e não-segregadas. Fonte: original do autor.**

<b>Medidas de desempenho</b>	<b>Correlação</b>
Atratividade - ficha tradicional x ficha segregada	0,719422
Conforto - ficha tradicional x ficha segregada	0,445433
Manutenção - ficha tradicional x ficha segregada	0,378066
Segurança - ficha tradicional x ficha segregada	0,791406
Segurança pública - ficha tradicional x ficha segregada	0,792689
NOTA TOTAL - ficha tradicional x ficha segregada	0,887358

O resultado entre as correlações das notas de cada MD, em cada uma das duas fichas de avaliação dos passeios, demonstrou que elas não possuem uma correlação muito forte entre si (maior que 0,90). Então, duas questões importantes surgiram: a primeira foi que utilizar uma ou outra ficha de avaliação poderia influenciar no modelo de predição; e a segunda questão, que mudando a maneira com que são obtidos os dados, há uma mudança na metodologia proposta por Khisty (1994), para avaliação qualitativa dos passeios. Dessas questões partiu a necessidade de processar cada um dos conjuntos de dados obtidos pelas fichas, juntamente com a saída (fluxo de pedestres), da maneira que será processado o conjunto final de dados, ou seja, com as redes neurais artificiais (RNAs).

Ambos os resultados, ao serem processados, mostraram correlações semelhantes sem nenhuma alteração estatisticamente relevante (Anexo B). Por isso, acredita-se que as redes neurais artificiais conseguiram abstrair bem a informação de ambas as bases de dados. Nessa experiência ficou claro que ambas as fichas apresentaram uma correlação semelhante; por isso, o segundo tipo de avaliação pode ser utilizado para adquirir as informações sobre as qualidades dos passeios se for utilizada a rede neural artificial para processar os dados.

Partiu-se da bibliografia consultada, fazendo uma adaptação da metodologia originalmente utilizada por Khisty (1994). Foram adotados somente

três atributos por medida de desempenho e cinco MDs. Desse modo, procurou-se evitar trabalhar com atributos e medidas de desempenho que não possuísem muita relevância para a área estudada ou que apresentassem semelhanças entre si. Segundo a metodologia das medidas de desempenho, a atribuição dessas variáveis, bem como seus próprios atributos são desenvolvidos e interpretados pelo pesquisador que está desenvolvendo a pesquisa. As medidas adotadas têm seus atributos descritos a seguir:

- Atratividade
  - Características visuais do espaço: Agradabilidade do espaço aos pedestres e preocupação com os aspectos estéticos.
  - Características sociais do espaço: Existência de espaços destinados à vivência e sociabilização dos pedestres.
  - Características visuais do entorno: Aparência e função do entorno e sua influência sobre os pedestres.
- Conforto
  - Características da faixa de circulação de pedestres: A largura efetiva da calçada, relativa às dimensões da faixa livre remanescente ao subtrair o espaço destinado ao mobiliário urbano, bem como os espaços destinados à sua utilização.
  - Características de acesso a portadores de necessidades físico-motoras: Adequação do passeio no sentido de conter rampas de acesso e ausência de desníveis. Não são tratadas neste ponto as qualificações dos passeios a outros grupos de portadores de necessidades especiais, como por exemplo, os visuais, que necessitariam de piso tátil, pois, infelizmente, nenhum passeio da cidade possui esse tipo de adequação.
  - Características da disposição do mobiliário urbano: Interferência do mobiliário público e sua área de utilização na circulação dos pedestres.
- Manutenção
  - Características da adequação do tipo de pavimentação à via: Descreve o

quão adequado é o tipo do piso para uma via de pedestres.

- Características da condição física da pavimentação: Analisa o estado da conformação do piso e sua relação com a necessidade imposta pelo tráfego de pedestres.
- Características da limpeza da via: Mede o grau de sujeira e entulhos acumulados na calçada.
- Segurança
  - Possibilidade de conflito entre pedestres e veículos: Caracteriza como se dá a relação entre pedestres e veículos, principalmente os automotores, avaliando a possibilidade de interferência na calçada.
  - Características das passagens para outras calçadas por faixa de segurança: Avalia se as passagens para outras calçadas são providas de faixas de segurança.
  - Características das passagens para outras calçadas com auxílio de semáforo: Analisa se as passagens para outras calçadas possuem o auxílio de semáforos.
- Segurança pública
  - Policiamento no local: Identifica a existência de policiamento na calçada e com que frequência ele é realizado.
  - Co-presença local: Avalia a presença de pessoas em uma área, o que caracteriza a sensação de segurança ao pedestre.
  - Visibilidade entre os diferentes pontos do passeio: Descreve a visual desobstruída entre os pontos da calçada. Quanto mais livre for a linha de visão do pedestre, maior é sua sensação de segurança.

As medidas de desempenho receberam fichas de avaliação específicas para cada uma delas. Nessas fichas estão contidos os três atributos a serem analisados pelo avaliador sobre as condições físicas qualitativas dos passeios, conforme as tabelas apresentadas a seguir (Tabelas 11, 12, 13, 14 e 15):

Tabela 11 - Ficha da medida de desempenho Atratividade. Fonte: original do autor.

**Atratividade****Características visuais do espaço**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Ambiente muito agradável e bem cuidado	5
Ambiente agradável.	4
Ambiente pouco agradável	3
Ambiente pouco atraente	2
Ambiente sem nenhuma preocupação com aspectos estéticos e visuais.	1
Ambiente inóspito para pedestres.	0

**Características sociais do espaço**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Ambiente projetado com muito espaço destinado a vivência e sociabilização.	5
Ambiente com espaços destinados a vivência e sociabilização.	4
Ambiente com algum espaço destinado a vivência e sociabilização.	3
Ambiente com poucos espaços destinados a vivência ou sociabilização.	2
Ambiente sem espaços destinados a vivência ou sociabilização.	1
Ambiente inóspito para pedestres.	0

**Características visuais do entorno**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Calçadas ao lado de parques, praças, bosques, etc.	5
Calçadas ao lado de residências com muros baixos, jardins e/ou comércio com vitrinas atraentes.	4
Calçadas ao lado de residências com muros altos e/ou comércio sem vitrinas e sem atrações.	3
Calçadas ao lado de grandes construções de uso comercial de grande porte.	2
Calçadas ao lado de construções sem acessos.	1
Calçadas ao lado de terrenos baldios ou de construções sem acesso.	0

Tabela 12 - Ficha da medida de desempenho Conforto. Fonte: original do autor.

**Conforto****Características da faixa de circulação de pedestres**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Faixa de circulação de pedestres livre, com largura superior a 2,0 m.	5
Faixa de circulação de pedestres livre, com largura em torno de 2,0 m.	4
Faixa de circulação de pedestres pouco reduzida, com largura em inferior a 2,0 m.	3
Faixa de circulação de pedestres reduzida, com largura em inferior a 1,2m.	2
Faixa de circulação de pedestres bastante reduzida, com largura inferior a 0,70 m.	1
Faixa de circulação de pedestres totalmente obstruída.	0

**Características de acesso a portadores de necessidades físico-motoras**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Acesso total para portadores de necessidades físico-motoras, com ausência de desníveis na calçada.	5
Alguma facilidade de acesso para portadores de necessidades físico-motoras, com ausência de desníveis significativos.	4
Apresenta algumas dificuldades de acesso para portadores de necessidades físico-motoras, com alguns desníveis na calçada.	3
Apresenta dificuldades de acesso para portadores de necessidades físico-motoras, com alguns desníveis abruptos.	2
Apresenta muitas dificuldades de acesso para portadores de necessidades físico-motoras, com muitos desníveis abruptos.	1
Inviabiliza qualquer tipo de acesso de portadores de necessidades físico-motoras.	0

**Características da disposição do mobiliário urbano**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Faixa de circulação de pedestres livre de obstáculos.	5
Faixa de circulação de pedestres com mobiliário urbano sem interferir na circulação.	4
Faixa de circulação de pedestres com mobiliário urbano interferindo pouco na circulação.	3
Faixa de circulação de pedestres com mobiliário urbano interferindo na circulação.	2
Faixa de circulação de pedestres com mobiliário urbano interferindo muito na circulação.	1
Faixa de circulação de pedestres com mobiliário urbano concentrado em alguns pontos interferindo muito na circulação.	0

Tabela 13 - Ficha da medida de desempenho Manutenção. Fonte: original do autor.

**Manutenção****Características da adequação do tipo de pavimentação à via**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Tipo de pavimento especial para vias de circulação de pedestres.	5
Tipo de pavimento adequado à via.	4
Tipo de pavimento aceitável a uma via de circulação de pedestres.	3
Tipo de pavimento inadequado à via.	2
Calçada não pavimentada.	1
Calçada inexistente.	0

**Características da condição física da pavimentação**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Pavimento em excelentes condições.	5
Pavimento em boas condições.	4
Pavimento em condições aceitáveis.	3
Pavimento em condições ruins.	2
Calçada não pavimentada.	1
Calçada inexistente.	0

**Características da limpeza da via**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Apresenta excelentes condições de limpeza.	5
Apresenta ótimas condições de limpeza.	4
Apresenta boas condições de limpeza na via.	3
Apresenta lixo e/ou entulho acumulado na calçada	2
Apresenta muito lixo e/ou entulho acumulado na calçada	1
Apresenta a área delimitada para a calçada coberta por mato e entulhos variados.	0

Tabela 14 - Ficha da medida de desempenho Segurança. Fonte: original do autor.

**Segurança****Possibilidade de conflito entre pedestres e veículos**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Não existe conflito entre pedestres e veículos nesta área. A área é exclusiva para pedestres e tem restrição ao tráfego veicular.	5
Nenhum conflito entre pedestres e veículos. Área para pedestres protegida do fluxo de veículos por canteiros.	4
Nenhum conflito entre pedestres e veículos. Áreas para pedestres separadas de veículos por guias de 15 cm.	3
Possibilidade de conflito entre pedestres e veículos. Áreas para pedestres separadas de veículos por guias rebaixadas para acesso de veículos em alguns pontos.	2
Possibilidade de conflito entre pedestres e veículos. Áreas para pedestres separadas de veículos por guias rebaixadas para o acesso de veículos em muitos pontos.	1
Grande possibilidade de conflito entre pedestres e veículos, não existe área reservada para pedestres.	0

**Características das passagens para outras calçadas - faixa de segurança**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
A área é exclusiva de pedestres e tem restrição ao tráfego veicular.	5
Todas as passagens de pedestres para outras calçadas possuem faixa de segurança.	4
Existem muitas passagens de pedestres para outras calçadas com faixa de segurança.	3
Existem, eventualmente, passagens de pedestres para outras calçadas com faixa de segurança.	2
Não existem passagens de pedestres para outras calçadas com faixa de segurança.	1
Não existe área reservada para pedestres.	0

**Características das passagens para outras calçadas - semáforo**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
A área é exclusiva para pedestres e tem restrição ao tráfego veicular.	5
Todas as passagens para outras calçadas são semaforizadas.	4
Existem muitas passagens semaforizadas para outras calçadas.	3
Existem, eventualmente, passagens semaforizadas para outras calçadas.	2
Não existem passagens semaforizadas para outras calçadas.	1
Não existe área reservada para pedestres.	0

Tabela 15 - Ficha da medida de desempenho Segurança Pública. Fonte: original do autor.

**Segurança Pública****Policciamento no local**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Existe policiamento ostensivo em todas as horas do dia.	5
Existe policiamento ostensivo na maior parte do dia.	4
Existe policiamento ostensivo em algumas as horas do dia.	3
Existe policiamento esporádico.	2
Pouco policiamento, perigo de assaltos.	1
Nenhum policiamento, grande perigo de assaltos.	0

**Co-presença local**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Grande movimentação de pedestres em diferentes horas do dia.	5
Movimento pleno de pedestres em diferentes horas do dia.	4
Movimento razoável de pedestres em diferentes horas do dia.	3
Pouco movimento de pedestres exceto em horários de pico.	2
Pouco movimento de pedestres mesmo em horários de pico.	1
Praticamente não existe movimento de pedestres ao longo do dia.	0

**Visibilidade entre os diferentes pontos do passeio**

<b>Descrição</b>	<b>Pontos</b>
Relação excelente de visibilidade entre pontos.	5
Relação satisfatória de visibilidade entre pontos de média e longa distância.	4
Relação média de visibilidade entre pontos.	3
Relação baixa de visibilidade entre pontos.	2
Relação mínima de visibilidade entre pontos.	1
Nenhuma relação de visibilidade entre pontos.	0

O próximo passo foi aplicar as fichas de avaliação na área e descrever cada possibilidade de representação desses atributos dentro da MD por dois pesquisadores.

## 4.3.3.2. Ponderação das medidas de desempenho

Na metodologia do nível de serviço existe um fator de ponderação responsável por destinar importâncias diferentes para as MDs. A percepção das necessidades do indivíduo forma as suas atitudes de se locomover pelo espaço. De acordo com as atitudes dos pedestres pode-se deduzir qual será seu comportamento. Ferreira e Sanches (2001) utilizam um formulário com as cinco

medidas de desempenho utilizadas em seu trabalho, pedindo aos pedestres da área para enumerarem quais características achavam mais importante nas calçadas. Nessa avaliação o pedestre dava a nota 1 para a característica mais importantes, e assim por diante, até a última que recebia 5. O método proposto por Khisty (1994), para ponderar o valor de cada medida de desempenho, utiliza o método da comparação par-a-par juntamente com a técnica da soma constante. Esse método faz com que o pedestre sempre avalie a importância de cada par de MD separadamente, evitando que ele possa ficar em dúvida ao se deparar com tantos atributos ao mesmo tempo.

Nesta pesquisa foi adaptado o método de Khisty (1994), criou-se um questionário para determinar qual das características do passeio eram preferidas pelos pedestres. Para isso foram aplicados questionários aos pedestres da área com a seguinte pergunta (Tabela 16): **Qual a característica que mais influencia sua decisão na escolha de uma calçada?** Foram comparadas todas as variáveis, duas a duas, medindo sua importância. A característica mais importante recebeu um “x”, sendo que, se o pedestre considerasse que ambas eram igualmente importantes deveria marcar as duas.



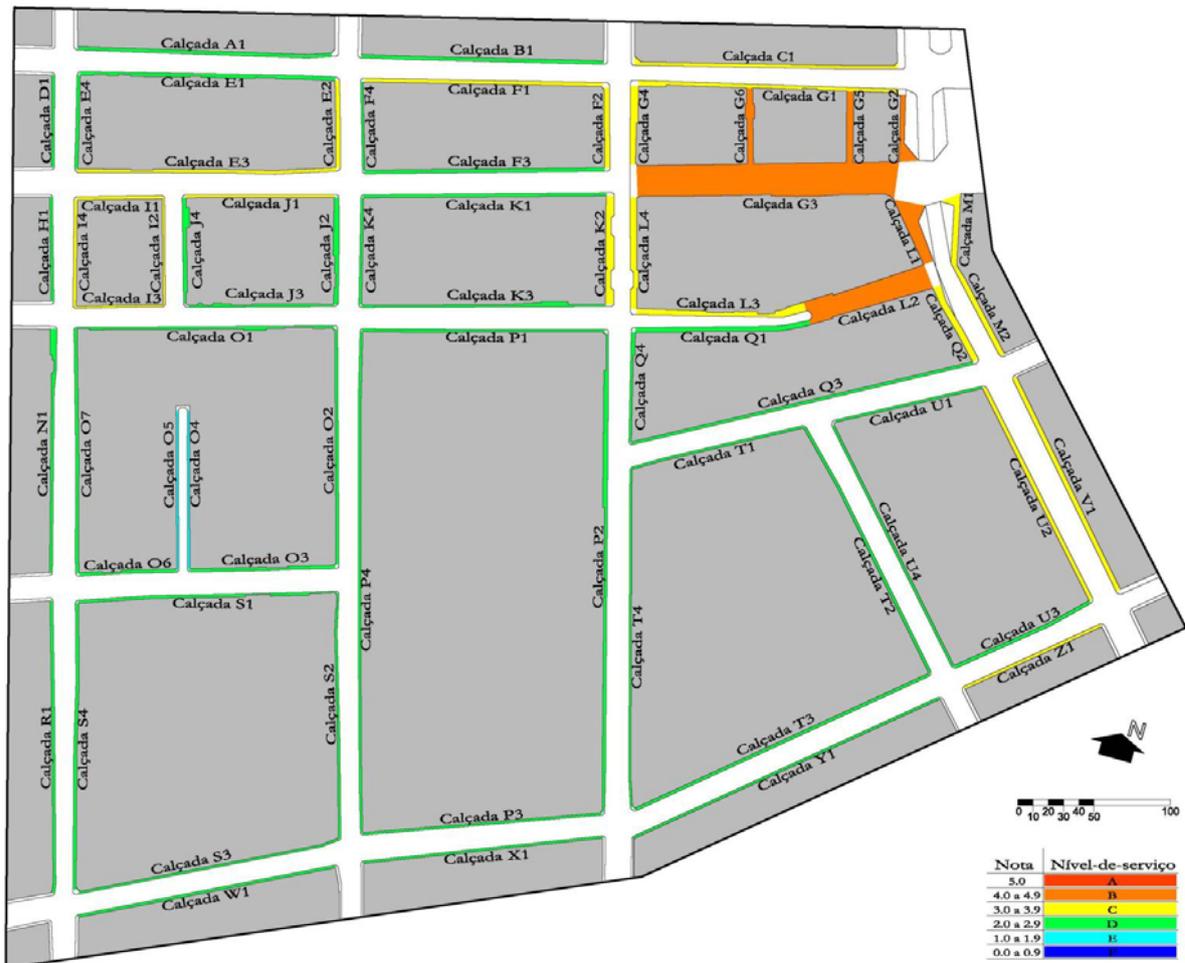
Os questionários foram aplicados aos pedestres no local da pesquisa, ao longo do mês de novembro e dezembro de 2004 em diferentes dias e horários, pelo próprio pesquisador, o que serviu para esclarecer as possíveis dúvidas dos respondentes. A amostragem totalizou 100 questionários, sendo que todos foram considerados válidos. O número de amostras foi adaptado da pesquisa de Silva (2004), onde supôs que uma população infinita e um nível de confiabilidade de 90% resulta na amostra de 100 questionários.

De posse dos questionários respondidos, foi feita a soma das respostas dadas através da técnica da soma constante. Cada variável marcada recebeu 10 pontos; quando o pedestre marcou ambas as respostas do par foram distribuídos 5 pontos para cada uma. Em uma matriz são dispostas todas as possibilidades de comparação dos pares das MD. Então, soma-se o valor obtido de cada MD separadamente, depois se obtém a soma de todas as MDs. O valor do somatório de cada MD é dividido pelo valor do somatório total das MDs, resultando no coeficiente de ponderação. (Tabela 17).

Tabela 17 - Cálculo da ponderação através do método da soma constante. Adaptado de Khisty (2004).

	Atratividade	Conforto	Manutenção	Segurança	Segurança Pública	
Atratividade		125	130	155	180	$\rightarrow \Sigma_A \quad 210 : 2000 = 0.11$
Conforto	75		115	95	135	$\rightarrow \Sigma_C \quad 380 : 2000 = 0.19$
Manutenção	70	85		40	140	$\rightarrow \Sigma_M \quad 465 : 2000 = 0.23$
Segurança	45	105	160		145	$\rightarrow \Sigma_S \quad 345 : 2000 = 0.17$
Segurança Pública	20	65	60	55		$\rightarrow \Sigma_{SP} \quad 600 : 2000 = 0.30$
	180	135	140	145		$\rightarrow \Sigma_T \quad 2000$

O nível de serviço é obtido através das notas recebidas pelo passeio, ponderado pelo coeficiente de cada medida de desempenho atribuído pelos pedestres. Ele é representado em mapas por cores e se classifica em: 'F', para passeios com nota de 0.0 a 0.9 - cor azul escuro; 'E', de 1.0 a 1.9 - cor ciano; 'D', de 2.0 a 2.9 - cor verde; 'C', de 3.0 a 3.9 - cor amarelo; 'B', de 4.0 a 4.9 - cor laranja; e 'A', com nota 5.0 - cor vermelha (Ferreira e Sanches, 2001; Silva, 2004). Com essa classificação pode-se desenvolver o mapa da área com o nível de serviço das calçadas (Figura 42).



**Figura 42 - Mapa com o nível de serviço, classificando os passeios de ‘A’ (o melhor conceito) a ‘F’ (o pior) de acordo com as notas das MDs ponderadas pelo questionário dos pedestres. Fonte: original do autor.**

No projeto piloto foram implementados cenários comparando o fluxo de pedestres e o nível de serviço de várias maneiras (Tabela 18), para visualizar como se dão as relações entre os *inputs* e *outputs* (Anexo B). Desse modo, como entrada do modelo, existem três maneiras diferentes de colocar o nível de serviço: (1) como nota total; (2) utilizando os valores de cada MD, separadamente, em atratividade, conforto, manutenção, segurança e segurança pública; e (3) o terceiro modo, mais amplo, utilizando separadamente, cada um dos três atributos que compõem a MD, resultando em 15 atributos de entrada.

**Tabela 18 - Cenários de teste medidas de desempenho. Fonte: original do autor.**

Cenários de teste	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par	Erro
Cenário 02: Nota total das medidas de desempenho (ponderada)	0.7770	-	0.1271
Cenário 04: Nota das medidas de desempenho ponderadas	0.9827	-	0.0902
Cenário 05: Nota das medidas de desempenho segregadas em atributos e ponderadas	0.9408	-	0.1126
Cenário 03: Nota total das medidas de desempenho (ponderada)	-	0.8050	0.1867
Cenário 06: Nota das medidas de desempenho ponderadas	-	0.9391	0.0750
Cenário 07: Nota das medidas de desempenho segregadas em atributos e ponderadas	-	0.9041	0.1041

Da comparação entre esses cenários de testes, as variáveis das medidas que obtiveram os melhores resultados foram as medidas de desempenho separadas em MDs para ambos os tipos de saídas: pedestres parados e pedestres em movimento. A partir dessa constatação, pode-se inferir que, quando é utilizada a nota inteira do nível de serviço do passeio, as redes neurais artificiais não conseguem abstrair bem a informação.

Na outra possibilidade de cenário, ou seja, utilizando todos os atributos que compõem as medidas de desempenho separadamente, houve uma queda de 3% na correlação média em ambos, parados e em movimento, sendo que o erro médio também subiu. De certa maneira, as variáveis que compõem a medida de desempenho têm correlação umas com as outras e sua análise em separado faz com que essas correlações sejam perdidas, atuando de maneira negativa para o modelo. Já quando é fornecido um valor para cada medida de desempenho no modelo, as correlações se tornam muito melhores e os erros diminuem. Segregar os atributos que compõem as MDs foi uma estratégia adequada para facilitar a avaliação do passeio, por outro lado, não é adequada para modelar os dados.

Como citado anteriormente, as medidas de desempenho são ponderadas de acordo com o questionário respondido pelos usuários. Nesse ponto do trabalho, houve um questionamento sobre a importância do peso dado pelos pedestres, pois no caso da matriz dos pesos das variáveis na tabela 18, terceira coluna, “manutenção” possui um valor maior que “atratividade” que é maior que

“segurança”. No entanto, na primeira coluna, a variável “atratividade”, é menor que “segurança”. Este fato demonstra que, embora correta, pelo método da comparação par-a-par, os pesos das variáveis mostram determinações ilógicas. A partir disso, decidiu-se buscar uma maneira que explicasse se existe algum tipo de discrepância nesse método. Esse método foi o processo hierárquico analítico<sup>22</sup> (AHP, *Analytical Hierarchy Process*).

O objetivo deste trabalho não é entrar em detalhes sobre esse método, que já possui uma teoria bem fundamentada e uma vasta bibliografia, e sim, utilizar suas ferramentas para avaliar a taxa de consistência das relações entre as avaliações dos pedestres, isto é, se a avaliação dos pedestres para ponderar as variáveis é lógica ou não. Desse modo, converteram-se as variáveis em uma escala de 9 (máxima importância) a 1 (mesma importância), para rodar em um programa específico de AHP (CCI Library, 2005). O índice de consistência das variáveis foi de 0,124, o que é considerado baixo pela bibliografia (Pamplona, 1999 e 2003; Saaty, 2003; Tam, 2001). Fica claro que a matriz obtida com base nos pesos dados pelos pedestres está com parâmetros ilógicos.

Pelo método de AHP, uma matriz que obtém um índice de consistência baixo deve reavaliar os pesos da matriz como um todo. Contudo, a metodologia do nível de serviço recomenda que a ponderação seja feita pelos pedestres. Desse modo, podem-se criar cenários para avaliar se os pesos atribuídos pelos pedestres para as medidas de desempenho obtêm melhores correlações, mesmo possuindo inadequações lógicas, comparado com um modelo que não utilize o peso dos pedestres para ponderar as MDs.

Os testes mostraram que na saída ‘pedestres em movimento’ houve uma pequena melhora no cenário que levou em conta a pesquisa de opinião para "calibrar" os dados (Tabela 19). Por outro lado, no cenário que tinha como saída

---

22 A AHP foi criada por Saaty (1991); pode ser usado para qualificar as características qualitativas, permitindo a ponderação das características e sua consistência. O método fundamenta-se na comparação das características de duas a duas, avaliando a importância de uma sobre a outra.

os pedestres parados, obtiveram melhores resultado aqueles que não levavam em conta o questionário para ponderar os pesos. Ficou claro, nesse aspecto, que o peso de calibração dado pelos questionários não influenciou significativamente os resultados: para o cenário com saída ‘pedestres parados’ a diferença foi de 0,0046 e para o cenário de ‘pedestres em movimento’ a diferença foi de 0,0096.

**Tabela 19 - Cenários de teste entre medidas de desempenho ponderadas e não-ponderadas. Fonte: original do autor.**

Cenários de teste	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par	Erro
Cenário 04: Nota das medidas de desempenho ponderadas	0.9827	-	0.0902
Cenário 08: Nota das medidas de desempenho	0.9902	-	0.0732
Cenário 06: Nota das medidas de desempenho ponderadas	-	0.9391	0.0750
Cenário 09: Nota das medidas de desempenho	-	0.9487	0.0697

Os resultados encontrados para as saídas em movimento e parado foram quase idênticas, o que denota que a pesquisa de opinião pode ser algo significativo para o estudo dos passeios, pois classifica em ordem os atributos que os pedestres consideram mais importantes. Contudo, nesta pesquisa, a avaliação dos pedestres pode ser dispensada, pois as RNA, por si só, já têm mecanismos que permitem a classificação e ponderação de variáveis. Isso ocorre pois as redes neurais artificiais atribuem o peso de cada variável de acordo com a maneira como elas estimulam o neurônio artificial.

O objetivo desse trabalho não é saber quais características dos passeios são preferidas pelos pedestres, e sim quais, como e em que ordem de importância elas influenciam seu caminhar, bem como criar um modelo para analisar as características do passeio e sua relação com o fluxo de pedestres na área de estudo. Por outro lado, a análise da ponderação através de outro método, a AHP, foi importante para a pesquisa, pois revelou certas incongruências metodológicas que devem ficar claras desde o início. Desse modo, a pesquisa pôde conter reavaliações de critérios, como utilizar a nota do passeio não ponderada, sem que isso retorne como algo que prejudique o trabalho. Assim, serão utilizados para

posteriores estudos as notas do passeio não ponderadas pelos questionários aplicados aos pedestres da área. Das variáveis obtidas pela pesquisa foram criados mapas temáticos das MDs: 'atratividade' (Figura 43), 'conforto' (Figura 44) 'manutenção' (Figura 45), 'segurança' (Figura 46), 'segurança pública' (Figura 47) e 'nota das medidas de desempenho' (Figura 48).

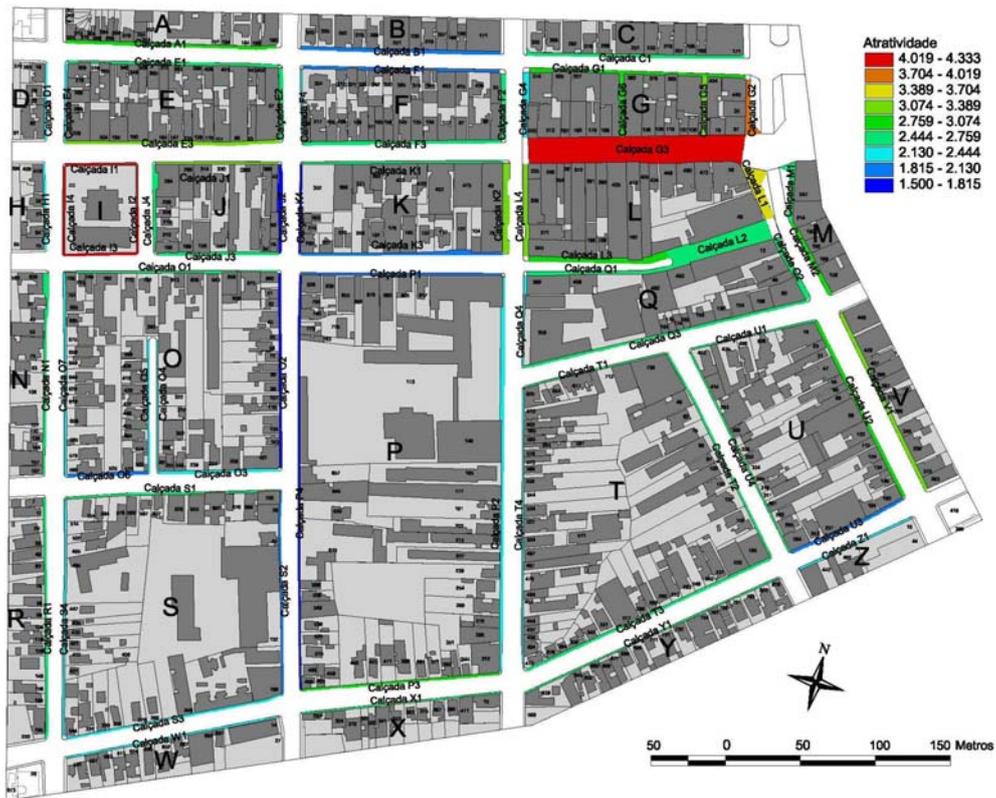


Figura 43 - Mapa temático da MD 'atratividade'. Fonte: original do autor.

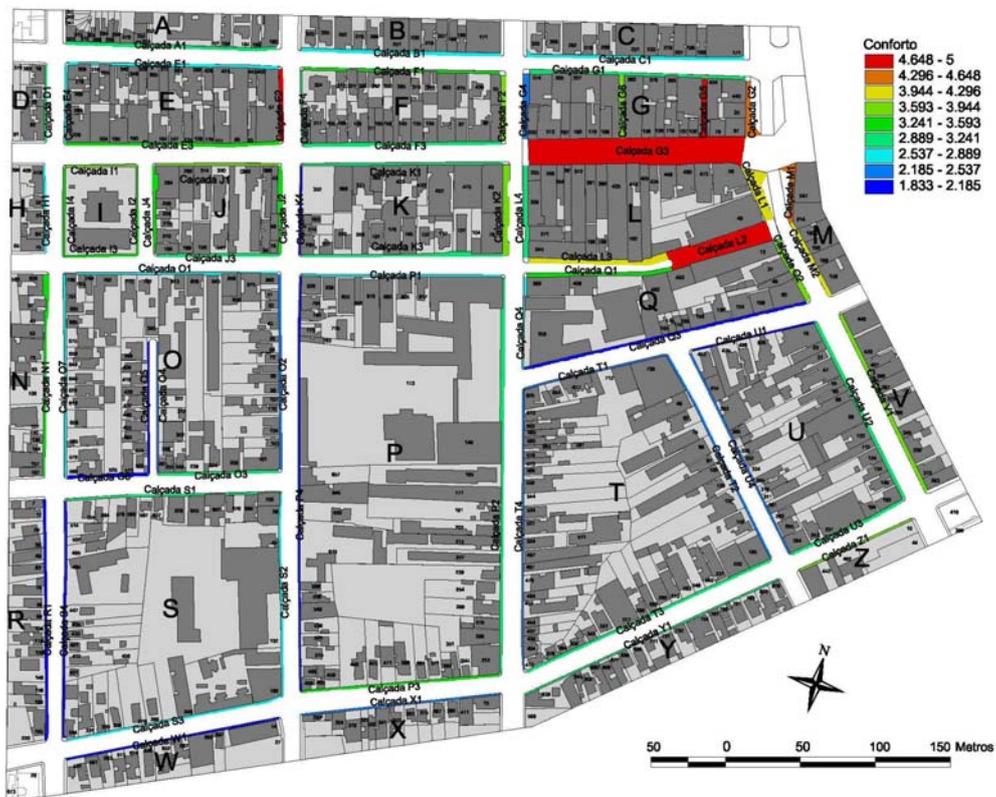


Figura 44 - Mapa temático da MD 'conforto'. Fonte: original do autor.

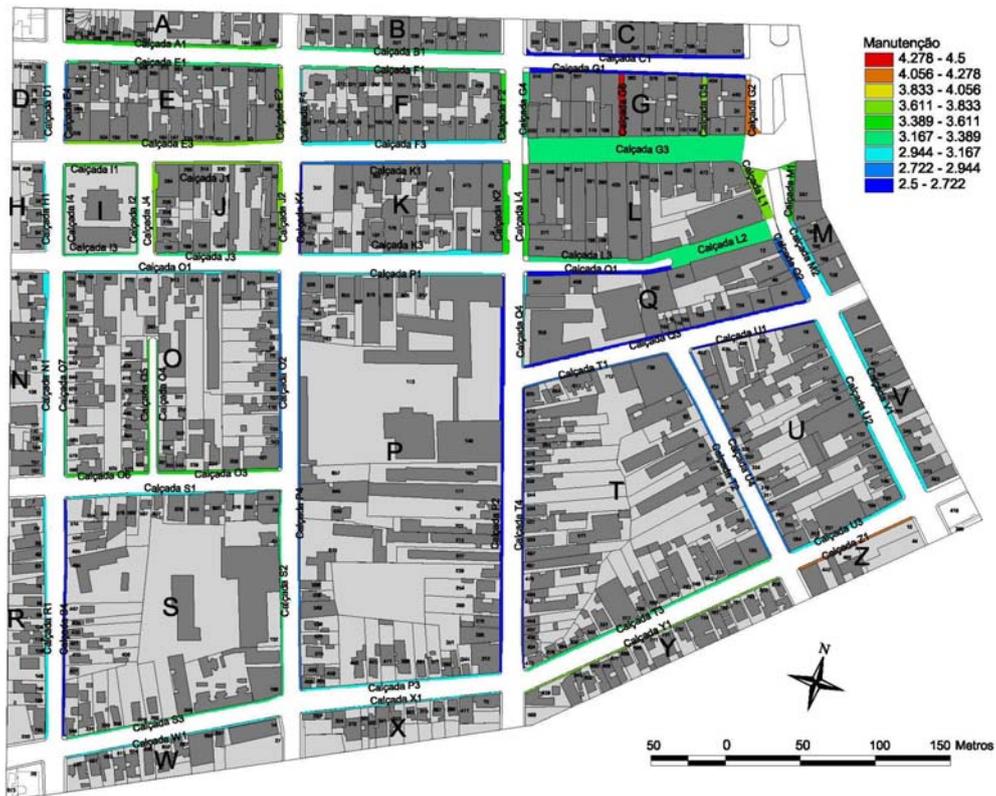


Figura 45 - Mapa temático da MD 'manutenção'. Fonte: original do autor.

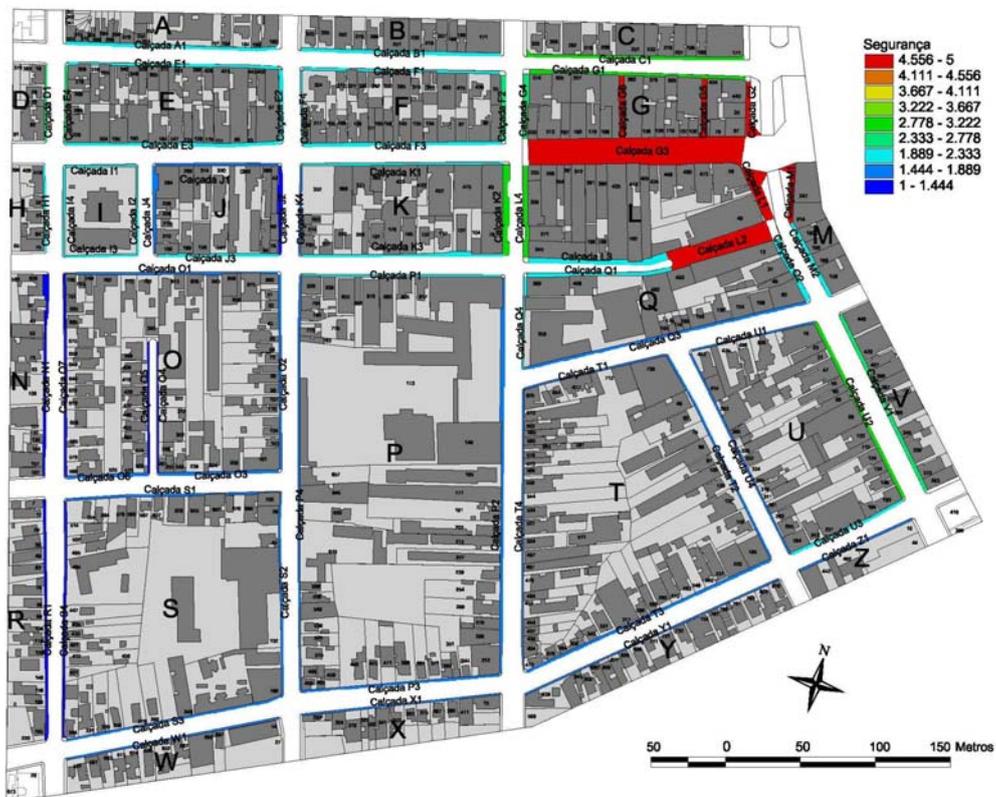


Figura 46 - Mapa temático da MD 'segurança'. Fonte: original do autor.

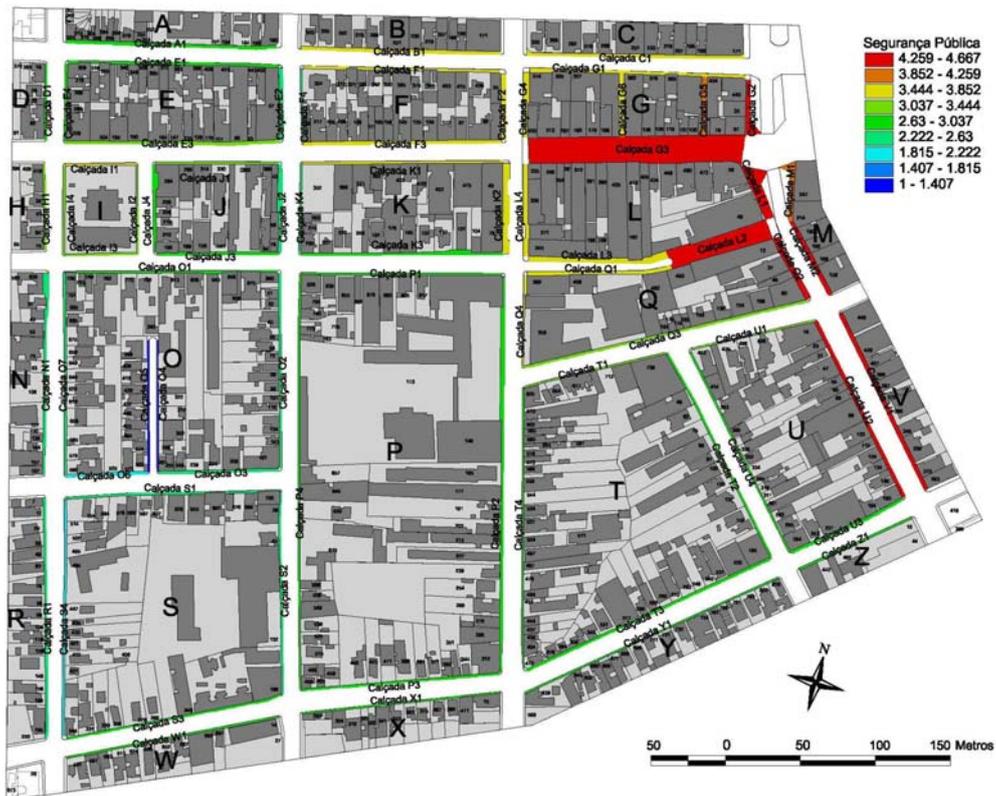


Figura 47 - Mapa temático da MD 'segurança pública'. Fonte: original do autor.

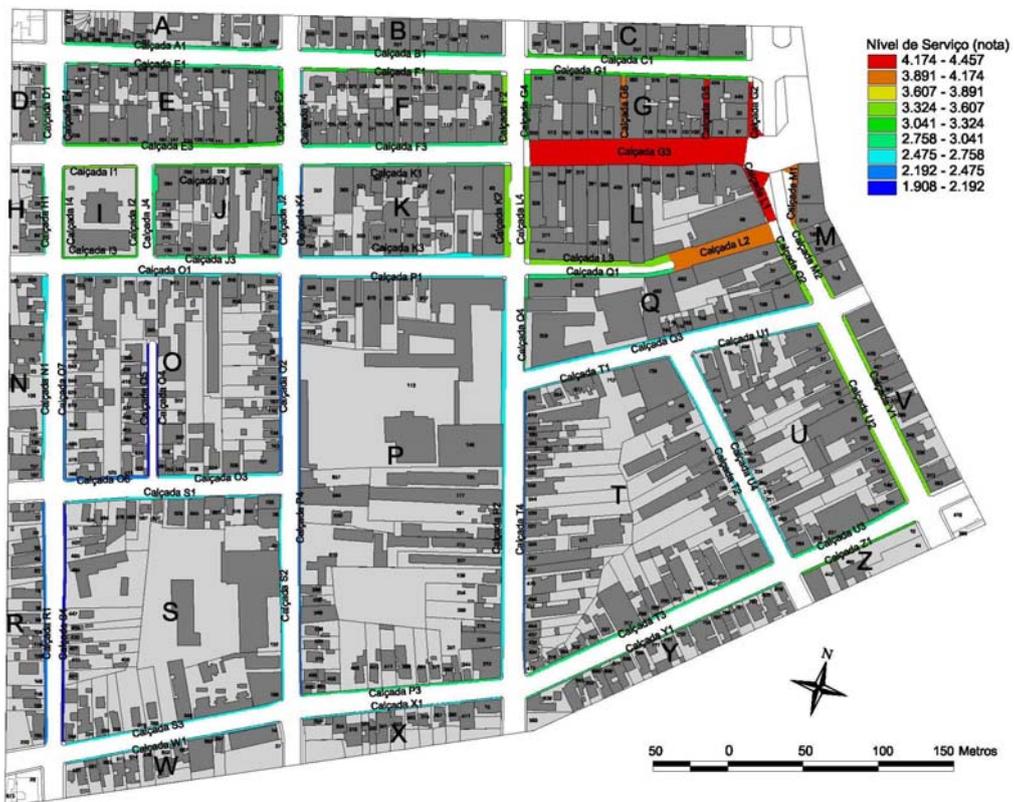


Figura 48 - Mapa temático da 'nota das medidas de desempenho'. Fonte: original do autor.

#### 4.3.4. Síntese das variáveis utilizadas

Com o projeto piloto, foi determinada qual a melhor maneira de utilizar as variáveis coletadas em um modelo para avaliar o fluxo de pedestres em uma área da cidade de Santa Maria. Muitas delas possuíam diversos modos de serem aplicadas, mas, pela avaliação dos modelos através de seu coeficiente de correlação e o erro relativo médio, pôde-se fazer uma filtragem delas e manter apenas as melhores e que fossem mais fáceis de utilizar. Serão apresentados abaixo, em ordem, as variáveis do espaço urbano, juntamente com a determinação da maneira como serão utilizadas para toda a área do estudo de caso (Tabela 20 e 21).

Tabela 20 - Resumo das variáveis do modelo de pedestres em movimento. Fonte: original do autor.

Modelo de pedestres em movimento		
Medidas sintáticas	<b>Integração global</b>	Medidas sintáticas, obtidas através do mapa axial da cidade de Santa Maria.
	<b>Integração local</b>	
	<b>Conectividade</b>	
	<b>Controle</b>	
	<b>Profundidade</b>	
	<b>Constituições</b>	Medida de ligações do passeio com as edificações, obtida pela soma da largura das aberturas dispostas linearmente ao passeio (metros).
	<b>Atratores</b>	Soma das áreas dos atratores térreos e de outros pavimentos (m <sup>2</sup> ), discriminados em residencial, comercial, serviço e outros usos.
Medidas de desempenho	<b>Largura</b>	Largura total do passeio.
	<b>Comprimento</b>	Comprimento total do passeio.
	<b>Atratividade</b>	Nota dos atributos somados na MD e não ponderados pelo questionário dos pedestres.
	<b>Conforto</b>	
	<b>Manutenção</b>	
	<b>Segurança</b>	
	<b>Segurança pública</b>	

Tabela 21 - Resumo das variáveis do modelo de pedestres parados. Fonte: original do autor.

Modelo de pedestres parados		
Medidas sintáticas	<b>Integração global</b>	Medidas sintáticas, obtidas através do mapa axial da cidade de Santa Maria.
	<b>Integração local</b>	
	<b>Conectividade</b>	
	<b>Controle</b>	
	<b>Profundidade</b>	
	<b>Constituições</b>	Medida de ligações do passeio com as edificações, obtida pela soma da largura das aberturas dispostas linearmente ao passeio.
	<b>Atratores</b>	Soma das unidades dos atratores térreos e de outros pavimentos, discriminados em residencial, comercial, serviço e outros usos.
Medidas de desempenho	<b>Largura</b>	Largura total do passeio.
	<b>Comprimento</b>	Comprimento total do passeio.
	<b>Atratividade</b>	Nota dos atributos somados na MD e não ponderados pelo questionário dos pedestres.
	<b>Conforto</b>	
	<b>Manutenção</b>	
	<b>Segurança</b>	
	<b>Segurança pública</b>	

#### 4.4. TÉCNICA DE TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados obtidos foram tabelados de acordo com o passeio a que pertencem para que todas as variáveis do espaço urbano se refiram a uma unidade específica. Depois, foram produzidas planilhas com esses dados, criando dois modelos, um para cada tipo de fluxo de pedestres obtidos, ou seja, parados e em movimento.

Para o processamento do modelo pelas RNAs foi utilizada a seguinte abordagem: 75% dos dados foram utilizados para treinamento do modelo, e com

os dados restantes foi realizado o teste. A divisão dos dados entre teste e treinamento varia de quem está elaborando o modelo, essa divisão dos dados é feita para que a rede tenha informações suficientes para abstrair as relações entre as variáveis do espaço e o fluxo de pedestres. As RNAs vão ajustando seus pesos sinápticos na fase de treinamento, buscando as associações necessárias em cada uma das rodadas<sup>23</sup> até atingir uma boa correspondência<sup>24</sup> entre dados treinados. Na fase de testes, a rede não abstrai informações e não ajusta seus pesos, somente avalia as informações que passam pela rede neural artificial, comparando a saída simulada com a saída real. Dessa maneira, os pesos do modelo são determinados na fase de treinamento, construindo o modelo, no teste o modelo é validado com os dados restantes.

O conjunto de teste serve para comprovar o desempenho da rede, já que os dados desse conjunto não entraram no processo de treinamento e são desconhecidos pelo programa. Para criar o modelo é utilizado o *software* de Redes Neurais Artificiais *BrainMaker Professional* (California Scientific Software, 1998). Existem inúmeros tipos de *softwares* que modelam as redes neurais artificiais, cabendo a cada pesquisador utilizar aquele que mais se ajuste a suas necessidades. Em seus resultados, este *software* apresenta maneiras de comprovar a eficácia do modelo tais como o Erro Relativo Absoluto Médio (ERAM<sup>25</sup>) e o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>).

Para obter o melhor modelo pode-se variar o número de neurônios na

---

23 Rodadas representam cada interação onde o programa propaga os dados de treinamento pelas camadas dos neurônios e retropropaga o erro para ajustar os pesos sinápticos.

24 A boa correspondência nos dados de treinamento é programada. Pode-se escolher entre erro médio, correlação ou porcentagem de dados treinados que sejam considerados válidos por uma margem de erro programada. Nesta pesquisa se utilizará a última, com um valor de 70% dos dados treinados sendo considerados bons.

25 O erro relativo absoluto médio é:  $ERAM = \sum_1^m (y_i - x_i / x_i) / n$  onde, y são os valores simulados e x os valores reais e n o número de observações.

camada intermediária, isso, é claro, seguindo as recomendações sobre a quantidade de neurônios que podem ser colocados nessa camada. Nos modelos, foram variados os números de neurônios até encontrar uma topologia de rede que apresentasse uma configuração adequada e, conseqüentemente, o melhor resultado.

De posse dos resultados, pôde-se descobrir como cada uma delas colabora com o fluxo de pedestres, ou melhor, como essas variáveis “explicam” o fluxo na cidade de Santa Maria. Garson (1991) desenvolveu um método onde se retira o peso sináptico de cada ligação entre os neurônios e aplica uma fórmula para obtenção dos pesos que cada uma das variáveis têm no sistema como um todo. Assim, as variáveis podem ser classificadas em ordem de importância para o fenômeno. Desse modo, pode-se retirar aquelas que não possuem uma representatividade significativa, ou então, simplesmente escolher as melhores e criar um modelo simplificado, mas que, mesmo assim, tenha poder de explicar o fenômeno criando um novo cenário.

Classificar a importância pode ser uma maneira de qualificar as variáveis no modelo. No entanto, a variável pode ter uma grande importância para o modelo e sua variação não alterar significativamente o fluxo. Desse modo, variáveis com menor importância podem potencializar o fluxo de pedestres de tal maneira que sua alteração se manifeste diretamente no fluxo. Esse tipo de fenômeno pode ser esperado em um modelo, pois existem variáveis de grande importância que parecem funcionar para amplificar as outras, ou seja, embutida no modelo e, se retirada, faz com que ele perca sua significância. Por isso, só obter as importâncias relativas das variáveis do espaço pode ser superficial para uma análise desse tipo.

De modo a visualizar todos os tipos de relação das variáveis e do fluxo de pedestres é necessário fazer uma análise de sensibilidade das variáveis. Ao manter todas as variáveis do modelo em seus valores máximos e mínimos, pode-se escolher uma delas e variar seu valor em intervalos regulares para ver como o

fluxo se modifica. Desse modo, variáveis que poderiam, aparentemente, não possuir uma importância significativa para o modelo, constituem-se importantes quanto ao carregamento deste.

Após as redes neurais artificiais estarem devidamente treinadas, os fluxos de pedestres poderão ser reproduzidos em outros ambientes. O primeiro passo é identificar qual função de ativação foi utilizada no programa para encontrar os atributos de saída. Nesse caso, a função de ativação é a sigmoide logística. Através de cálculos matemáticos entre os pesos sinápticos dos neurônios, o valor do *bias* e o número de camadas, pode-se obter os mesmos resultados sem um programa de redes neurais. Assim, as equações podem ser facilmente inseridas, por exemplo, em planilhas eletrônicas (Bocanegra, 2002).

Outro modo de utilizar as equações desenvolvidas é criando simples programas de computador. Eles podem ser desenvolvidos especificamente para estimar o fluxo de pedestres, entrando com os dados em uma interface própria. Segundo Bocanegra (2002), esses programas podem ser elaborados até por técnicos sem grande experiência em programação.

No projeto piloto, os modelos foram testados quanto aos tipos de entradas e saídas que proporcionam a melhor correlação entre seus *inputs e outputs* e o menor erro médio resultante. Desta abordagem, resultou a qualificação das variáveis utilizadas na pesquisa e, de certa maneira, uma melhoria intrínseca adquirida pelos modelos de predição. No próximo capítulo são criados modelos que utilizam estas determinações para a área do estudo de caso para avaliar as variáveis em relação ao fluxo de pedestres parados e em movimento.

## 5. DISCUSSÃO E RESULTADOS

Nesta parte apresentam-se como foram criados os modelos de pedestres parados e em movimento para o estudo de caso. Inicialmente, é apresentada a concepção do modelo. Para que, ao ser mostrada sua topologia, fique mais clara a implementação das redes neurais em modelos urbanos. Posteriormente, utilizam-se testes para avaliar o desempenho dos modelos, replicando-os em uma planilha eletrônica para isso. Por fim, são analisadas as variáveis, suas características e relação com o fluxo de pedestres, traçando a co-dependência a fim de buscar na teoria da morfologia e dos níveis de serviços, respostas para esses fenômenos.

### 5.1. CONCEPÇÃO DOS MODELOS

As RNAs trabalham com diferentes conjuntos de dados para o treinamento da rede e para avaliação do modelo (teste). Se uma rede treina muito, ela aprende somente as características dos dados de treinamento, memorizando-as, e no momento do teste, que utiliza as variáveis desconhecidas, apresenta resultados inadequados. Durante o treinamento, o importante é conseguir treinar a rede de maneira que se consiga um bom grau de coeficiente de correlação e erros estatisticamente baixos. No entanto, se a rede conseguir relações quase perfeitas entre os dados na parte do treinamento, provavelmente não conseguirá abstração suficiente para o teste. Por isso, o treinamento não deve ser feito visando um resultado perfeito, e sim, o melhor possível para que o teste saia adequado. Da mesma forma, quando uma rede tem um desempenho baixo no treinamento e se sai bem no teste, não quer dizer necessariamente que ela aprendeu as relações entre as variáveis e o fenômeno; pode ser que a rede está apenas “adivinhando” o resultado com êxito.

O programa utilizado para criar a rede neural artificial já possui

parâmetros, como o erro relativo absoluto médio (ERAM) e o coeficiente de correlação ( $R^2$ ), para estimar qual configuração apresenta melhorias para o modelo, tanto no treinamento, quanto no teste. Como a rede neural será replicada em uma planilha eletrônica, para avaliar como são as relações entre as variáveis e o fenômeno, é necessário que o modelo apresente bons resultados também na reprodução. Contudo, para avaliar o modelo replicado em planilhas eletrônicas, foi utilizado o erro quadrático médio (EQM), que é um erro similar ao ERAM, embora ele atribua pesos maiores aos erros mais altos e menores aos erros menores, desse modo, avaliando melhor as saídas imperfeitas que existem na rede neural. Da mesma forma, o  $R^2$  dado pelo programa utilizado é uma linha de tendência entre os valores experimentais (reais) e os simulados (obtidos pelo programa), sendo uma reta que não tem sua origem no 0 do gráfico, e com isso, apresentando um coeficiente de correlação maior para o conjunto. Se a correlação é perfeita entre os dados experimentais e simulados, a linha de tendência começaria na origem do gráfico, Por esse motivo, na replicação da rede é utilizado a linha de tendência com origem no ponto 0 do gráfico, o que diminui o valor da correlação mas apresenta um valor mais correto para este caso.

As variáveis obtidas foram aplicadas em modelos de redes neurais artificiais, alternando os parâmetros até conseguir uma topologia de rede que tivesse a habilidade para aprender as características do fenômeno, sem que nesse processo acabasse memorizando os dados. Desta maneira, mantém-se a rede com abstração suficiente para trabalhar com dados correspondentes, de realidades semelhantes.

Para obter os melhores modelos, ou seja, com menor erro e maior coeficiente de correlação, foram variadas as taxas de aprendizado, o número de neurônios e os “shuffles”<sup>26</sup> do conjunto de dados. As diferentes taxas de aprendizado possibilitam modificar o tamanho do ajuste que o *software* fará nas

---

26 Função utilizada pelo programa que embaralha os dados.

conexões dos neurônios artificiais o que muda a rapidez com que a rede aprende as características do fenômeno. A taxa de aprendizado foi variada entre constante<sup>27</sup>, linear<sup>28</sup>, exponencial<sup>29</sup> e heurística<sup>30</sup>, sendo o melhor resultado alcançado com a taxa de aprendizado constante, com o valor de 0,3 para os pedestres em movimento e de 0,6 para os parados, que varia de 0 a 1.

Foram testadas configurações de rede com diversos números de neurônios, variando entre dezessete e vinte cinco. Na medida que o número de neurônios aumentou, o desempenho da rede diminuiu. Com 17 neurônios, a rede neural conseguiu os melhores desempenhos. Isso corresponde a um neurônio da camada oculta para cada *input*. Uma outra maneira de melhorar o desempenho da rede foi embaralhando os dados através do comando “shuffle”. É difícil para as redes neurais aprenderem dados que estão agrupados. As informações devem se apresentar randomicamente para que a rede consiga treiná-la com maior acuidade. Os “shuffles” foram variados de 0 (dados em ordem normal) até 7, e depois disso treinados e avaliados. Os melhores resultados foram obtidos com a rede após serem feitos somente dois “shuffles” na base de dados.

Após todas essas melhorias, a rede neural continuou com um desempenho considerado baixo, cerca de 0,74 de coeficiente de correlação. Um exame nos dados mostrou que as saídas dos modelos têm altas discrepâncias entre seus valores (Gráfico 1a e 1b), o que cria um ruído nos dados e faz com que a rede aprenda juntamente com o fenômeno essas variações. A calçada “G3”, ou seja, o calçadão Salvador Isaías, é uma via de pedestres que possui o maior número de pedestres parados e em movimento da cidade, mais que o dobro do

---

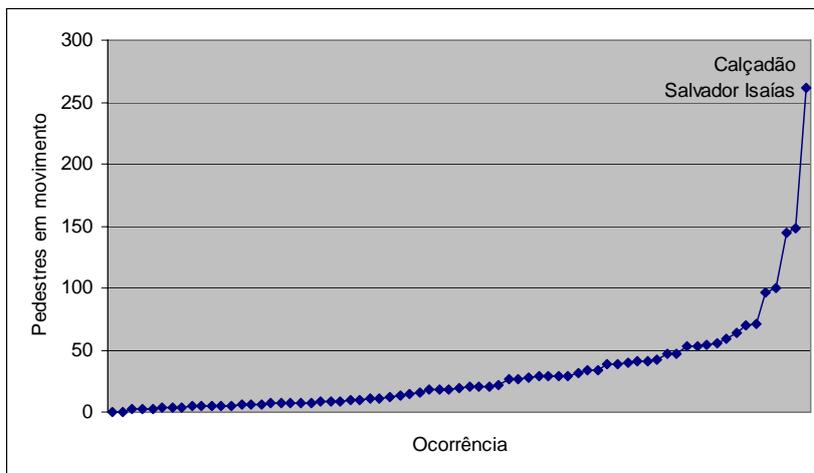
27 Esta taxa faz com que o aprendizado mantenha seu valor fixo durante o treinamento da rede.

28 Faz com que a taxa de aprendizado vá caindo linearmente de acordo com a quantidade de dados treinados corretamente.

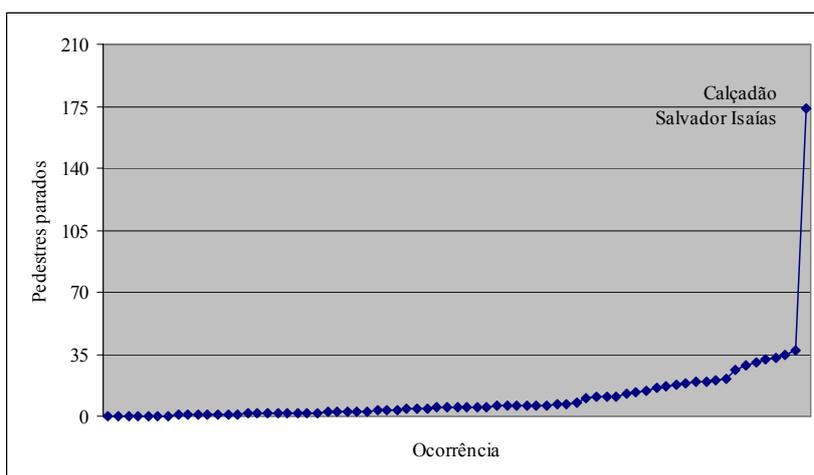
29 Igualmente a taxa de aprendizado linear, a exponencial reduz a taxa de aprendizado, no entanto, ela ocorre exponencialmente.

30 Faz com que a taxa de aprendizado decaia automaticamente pelo fator 0,5 quando o erro médio ou o número de exemplos treinados incorretamente diminui na rede neural.

fluxo de pedestres em movimento (Gráfico 1a), e ainda, quase cinco vezes mais pedestres parados que o segundo lugar (Gráfico 1b).



(a)



(b)

**Gráfico 1 - Variação da distribuição dos dados de saída de pedestres em movimento (a) e parados (b) em ordem crescente de valor. Fonte: original do autor.**

Na bibliografia específica de RNAs foram encontradas referências a problemas semelhantes e maneiras de tratá-los, uma delas era a exclusão do dado discrepante. Como esta pesquisa buscou justamente uma maneira de processamento das variáveis que suportasse esse tipo variação dos dados e, mesmo assim, conseguisse abstrair as características do fenômeno com esse tipo de diferença, essa opção foi logo descartada. Embora exista uma grande alteração no fluxo de pedestres desse passeio em relação aos outros, esse tipo de situação é

comum nas cidades e, além de existir a necessidade de entendimento do porquê dessa alteração, de uma forma ou outra, ele faz parte da dinâmica urbana desse tecido urbano e deve ser avaliado juntamente com os demais. Assim, buscou-se um modo com que a rede aprendesse as características sem que qualquer passeio fosse simplesmente excluído da base de dados, fato que, por mais que resultasse em correlações mais baixas, evidenciaria que existe algum padrão que deve ser estudado melhor.

Uma solução encontrada foi reavaliar o modo de treinamento da rede neural, pois, devido à grande diferença dos dados, a rede aprendia primeiro a exceção e depois a regra, ou seja, o restante dos dados. Desse modo, foi introduzida uma maneira diferente de fazer o treinamento, começando com uma tolerância muito alta (0,4) de erro. Assim, mesmo que a rede encontrasse dados com diferenças de 40% entre o simulado e o real, ela considerava correto o treinamento e aprendia somente o que estava fora desse limite. Após treinar com todos os exemplos com erros maiores e a rede ficava com 100% de dados simulados considerados “bons”, e a tolerância da rede baixava (com fator de 0,9, ou seja,  $0,4 \times 0,9$  igual a 0,36) e os dados que agora eram considerados como errados eram novamente aprendidos e assim sucessivamente. Dessa maneira, a rede aprendeu os padrões por partes, e a grande variação entre os dados não alterou significativamente o aprendizado. A tolerância foi caindo até chegar a valores muito baixos, 0,0532 para o modelo em movimento e 0,0394 para o modelo de pedestres parados.

Através desse método, a rede conseguiu abstrair as informações do fenômeno de maneira que os valores fora dos padrões não funcionam como padrões e sim como efeitos causados pelos inputs devido a uma série de fatores ou multiplicadores. Os resultados dos últimos treinos e testes (Tabela 22 e 23) são apresentados a seguir:

**Tabela 22 - Teste dos parâmetros para encontrar o melhor modelo para simular os pedestres em movimento. Fonte: original do autor.**

Arquivo:	Rod <sup>31</sup>	Neur. CO <sup>32</sup>	Tipo de aprendizado	Shuffles	Treinamento		Teste	
					ERAM	R <sup>2</sup>	ERAM	R <sup>2</sup>
teste1	680	17	Constante ,4	2	0,0310	0,9350	0,0398	0,9540
teste2	860	17	Heurístico	2	0,0219	0,9348	0,0698	0,9294
teste3	800	17	Constante ,2	2	0,0213	0,9354	0,0663	0,9384
teste4	640	17	Constante ,5	2	0,0218	0,9309	0,0799	0,9132
teste5	2916	17	Constante ,3	2	0,0343	0,9520	0,0350	0,9631
<b>valid6</b>	<b>2916</b>	<b>17</b>	<b>Constante ,3</b>	<b>2</b>	<b>0,0343</b>	<b>0,9520</b>	<b>0,0350</b>	<b>0,9631</b>

**Tabela 23 - Teste dos parâmetros para encontrar o melhor modelo para simular os pedestres parados. Fonte: original do autor.**

Arquivo:	Rod	Neur. CO	Tipo de aprendizado	Shuffles	Treinamento		Teste	
					ERAM	R <sup>2</sup>	ERAM	R <sup>2</sup>
teste1	2560	17	Constante 0,3	2	0,0228	0,9566	0,0408	0,5155
teste2	1100	17	Constante 0,3	2	0,0393	0,9192	0,0257	0,7455
teste3	3060	17	Constante 0,2	2	0,0416	0,9096	0,0256	0,7012
teste4	5000	17	Constante 0,1	2	0,0423	0,8981	0,0317	0,2952
teste5	3440	17	Constante 0,4	2	0,0231	0,9646	0,0150	0,8473
teste6	2360	17	Constante 0,5	2	0,0221	0,9660	0,0155	0,9168
teste7	2740	17	Constante 0,6	2	0,0187	0,9769	0,0127	0,9406
<b>valid8</b>	<b>2740</b>	<b>17</b>	<b>Constante 0,6</b>	<b>2</b>	<b>0,0187</b>	<b>0,9769</b>	<b>0,0127</b>	<b>0,9406</b>

Quando os modelos conseguiram os melhores valores de teste, foram processados novamente para comprovar se os fatores que fizeram com que os modelos tivessem um desempenho superior funcionariam novamente. Após a validação do modelo, houve a necessidade de replicá-lo em uma planilha eletrônica para avaliar os erros quadráticos médios e os coeficientes de correlação, e ainda executar os testes para descobrir a importância das variáveis e a avaliação de como elas influenciam diretamente no fluxo de pedestres.

## 5.2. MODELO DE FLUXO DE PEDESTRES

O modelo foi replicado criando-se uma planilha eletrônica baseada no

31 Rodadas, indica quantas vezes a informação foi processada paralelamente pela rede. Cada rodada é um ciclo onde os inputs entram na camada oculta, são calculados os pesos e obtém-se a saída simulada com a real. O erro entre esta comparação é propagado para as camadas anteriores, corrigindo os pesos.

32 Neurônios na camada oculta, indica quantos neurônios são colocados na camada oculta da rede neural.

funcionamento dos neurônios de uma RNAs para determinar o número de pedestres parados e em movimento, como fez Bocanegra (2002) para encontrar o índice potencial de viagens. Contudo, toda a base de dados (medidas sintáticas, medidas de desempenho e os valores dos fluxos de pedestres medidos) utilizados deve estar normalizada entre 0 e 1, para isso utiliza-se a seguinte equação (14):

$$Y_i = \frac{(X_i - X_{\min}) \times (Y_{\max} - Y_{\min})}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (14)$$

(fonte: Bocanegra, 2002)

onde:

$Y_i$  = Valor normalizado;

$X_i$  = valor a ser normalizado;

$X_{\min}$  = menor valor no intervalo de origem de normalização;

$X_{\max}$  = maior valor no intervalo de origem de normalização;

$Y_{\min}$  = menor valor de destino de normalização (neste caso zero);

$Y_{\max}$  = maior valor de destino de normalização (neste caso um).

Depois, deve-se identificar a função de ativação utilizada na rede neural artificial, no caso destes modelos é a função sigmóide logística. Com esta função encontra-se o valor resultante entre a camada de entrada e a camada oculta (Equação 15), e usando este resultado, e novamente a função sigmóide logística, acham-se os valores da camada de saída (Equação 16).

$$f(u_j) = \frac{1}{1 + e^{-u_j}} \quad (15)$$

(fonte: Bocanegra, 2002)

onde,  $u_j$  é igual a:

$$u_j = a_{0j} + \sum_{i=1}^I a_{ij} x_i$$

onde:

$a_{ij}$  = peso do nó de entrada  $i$  para o neurônio oculto  $j$ ;

$x_i$  = valor de entrada do neurônio  $i$ ;

$a_{0j}$  = bias do neurônio oculto  $j$ ;

$I$  = número de neurônios de entrada.

$$f(v_k) = \frac{1}{1 + e^{-v_k}} \quad (16)$$

(fonte: Bocanegra, 2002)

onde,  $v_k$  é igual a:

$$v_k = b_{0k} + \sum_{j=1}^J b_{jk} y_j$$

onde:

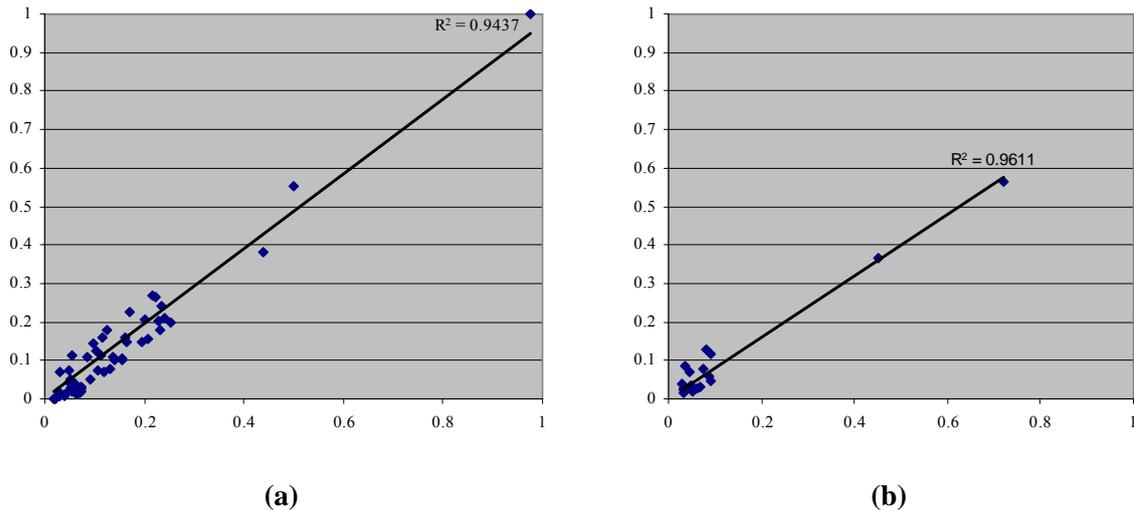
$b_{jk}$  = peso do nó de entrada  $j$  para o neurônio oculto  $k$ ;

$y_i$  = valor de entrada do neurônio oculto  $j$ ;

$b_{0k}$  = bias do neurônio de saída  $k$ ;

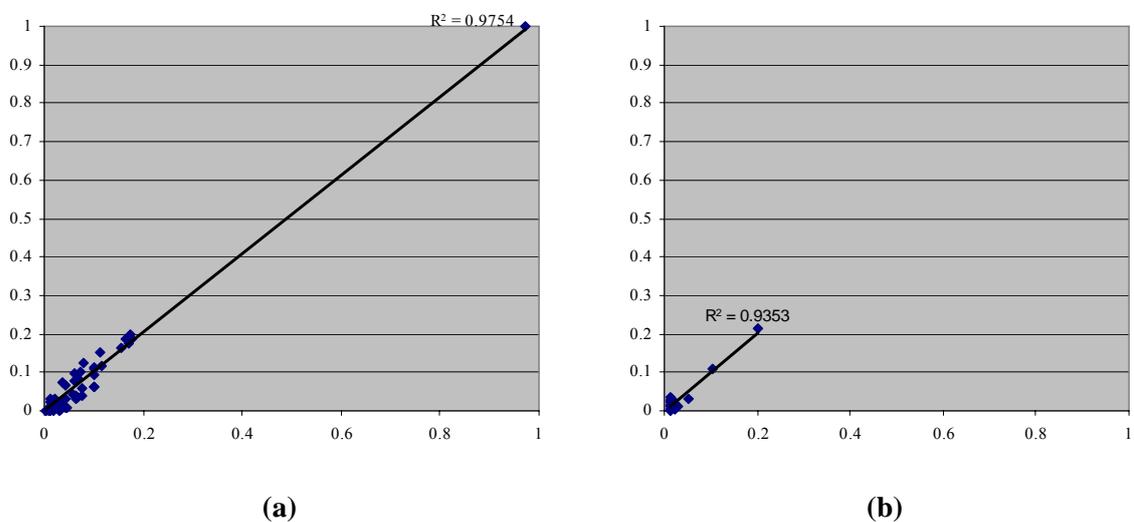
$J$  = número de neurônios ocultos.

Desse modo, a rede pode ser usada fora do ambiente do programa de redes neurais, para um melhor entendimento das relações entre as partes que a compõem. O resultado para ambos os modelos foi considerado satisfatório para esse tipo de pesquisa. O modelo dos pedestres em movimento obteve seu  $R^2$  do treinamento igual 0,9437 (Gráfico 2a) com erro quadrático médio de 0,0014689, e no teste obteve um  $R^2$  de 0,9611 (Gráfico 2b) com EQM de 0,0024692.



**Gráfico 2 - Coeficiente de correlação entre os dados de treinamento (a) e teste (b) do modelo de pedestres em movimento. Fonte: original do autor.**

No modelo de pedestres parados, o  $R^2$  do treinamento foi igual a 0,9754 (Gráfico 3a) com erro quadrático médio de 0,0004936, e o resultado do teste foi de 0.9353 (Gráfico 3b), com EQM de 0,000160393.



**Gráfico 3 - Coeficiente de correlação entre os dados de treinamento (a) e teste (b) do modelo de pedestres parados. Fonte: original do autor.**

Com esses resultados, pode-se inferir que a replicação dos modelos em planilhas eletrônicas foi bem sucedida, bem como seus resultados. A partir da determinação da qualidade do modelo puderam-se realizar testes para avaliar as características do ambiente urbano estudado com alto grau de correspondência, como o teste de importância desenvolvido por Garson (1991) (para obter a ordem

de importância das variáveis) e o de sensibilidade dos modelos (para avaliar qual das variáveis mais altera o fluxo de pedestres).

Contudo, antes de entrar em aspectos pertinentes a análise urbana, deve-se entender um pouco mais o modo como a rede neural estima as saídas através dos dados de entradas, os pesos dos neurônios e o *bias*.

### 5.2.1. Determinação da equação das redes neurais artificiais

Através de simples substituições na equação da função de ativação da rede neural sigmóide logística, com os valores dos pesos das conexões entre os neurônios e dos *bias* associados a cada neurônio, é possível reconstruir a rede neural artificial. Será ilustrado abaixo como ocorre a influência entre as variáveis e os parâmetros da própria rede. Para não ficar repetitivo, será apresentada apenas a equação de um dos modelos, neste caso de pedestres parados. A função de saída (Equação 17) contém todos os neurônios ponderados pelo peso da conexão somado ao *bias* da conexão de saída.

$$\text{Fluxo de pedestres parados} = N_s = (1/(1 + \text{EXP}(-(N1 * -0,2154) + (N2 * -1,4362) + (N3 * -0,4986) + (N4 * -3,9686) + (N5 * 0,1122) + (N6 * 2,8516) + (N7 * -0,5106) + (N8 * -1,312) + (N9 * 3,3932) + (N10 * -2,4776) + (N11 * 3,3402) + (N12 * -1,3114) + (N13 * -1,2942) + (N14 * 0,4408) + (N15 * 0,5964) + (N16 * -0,5654) + (N17 * 0,7332) - 0,2584)))$$

(17)

(fonte: original do autor)

onde:

Cada função dos neurônios é representada por N seguido de seu número;

O neurônio de saída é representado por  $N_s$ ;

Exemplo do peso das conexões entre a camada oculta e a camada de saída:  
-0,2154;

Exemplo do valor do *bias* do neurônio de saída: -0,2584;

Na equação de saída, as funções dos neurônios da camada intermediária são incorporadas nas equações do neurônio de saída, relativas ao neurônio, criando uma equação que, embora pareça complexa, é apenas a repetição de

alguns procedimentos (Equação 18).

//--- neurônio de saída  
 =(1/(1+EXP(-

//--- N1 - primeiro neurônio;

(( ((1/(1+EXP(-( (RN\*4,7108) + (R3\*4,868) + (Conec\*4,8692) + (Cont\*4,5572) + (Prof\*3,3552) + (Const\*4,5644) + (Res\*5,933) + (Com\*4,792) + (Ser\*4,5574) + (Out\*-0,8954) + (Larg\*5,2256) + (Comp\*4,744) + (Atrat\*4,5732) + (Conf\*4,9934) + (Manut\*2,2874) + (Segur\*4,7452) + (Seg\_pub\*4,7572) + 4,9776)))))) \* -0,2154

//--- N2 - segundo neurônio;

+ ( ((1/(1+EXP(-( (RN\*3,3552) + (R3\*4,5776) + (Conec\*2,1266) + (Cont\*-2,3502) + (Prof\*5,2096) + (Const\*-3,635) + (Res\*2,924) + (Com\*-4,5002) + (Ser\*-3,056) + (Out\*5,6274) + (Larg\*-2,398) + (Comp\*1,21) + (Atrat\*4,4382) + (Conf\*4,371) + (Manut\*5,205) + (Segur\*5,4474) + (Seg\_pub\*4,4542) + 4,667)))))) \* -1,4362

//--- N3, N4, N5, ..., N15, N16;

+ (N3\* -0,4986)+(N4\* -3,9686) + (N5\* 0,1122) + (N6\* 2,8516) + (N7\* -0,5106) + (N8\* -1,312) + (N9\* 3,3932) + (N10\* -2,4776) + (N11\* 3,3402) + (N12\* -1,3114) + (N13\*-1,2942) + (N14\* 0,4408) + (N15\* 0,5964) + (N16\* -0,5654)

//--- N17- décimo sétimo neurônio;

+ ( ((1/(1+EXP(-( (RN\*-3,302) + (R3\*-4,541) + (Conec\*-3,4686) + (Cont\*-3,4426) + (Prof\*1,8914) + (Const\*-1,729) + (Res\*0,9904) + (Com\*1,9208) + (Ser\*-2,623) + (Out\*4,7932) + (Larg\*-4,443) + (Comp\*-0,2994) + (Atrat\*1,1204) + (Conf\*1,2842) + (Manut\*1,9542) + (Segur\*2,971) + (Seg\_pub\*-1,6906) + -3,0232)))))) \* 0,7332

//--- neurônio de saída;  
 + -0,2584)) )

(18)

(fonte: original do autor)

onde:

Cada função dos neurônios é representada por N seguido de seu número;  
 As abreviaturas destacadas em amarelo representam as variáveis do modelo;  
 Exemplo do peso das conexões entre a camada de entrada e a oculta: 4,7108;  
 Exemplo do valor do *bias* de cada neurônio: 4,9776;

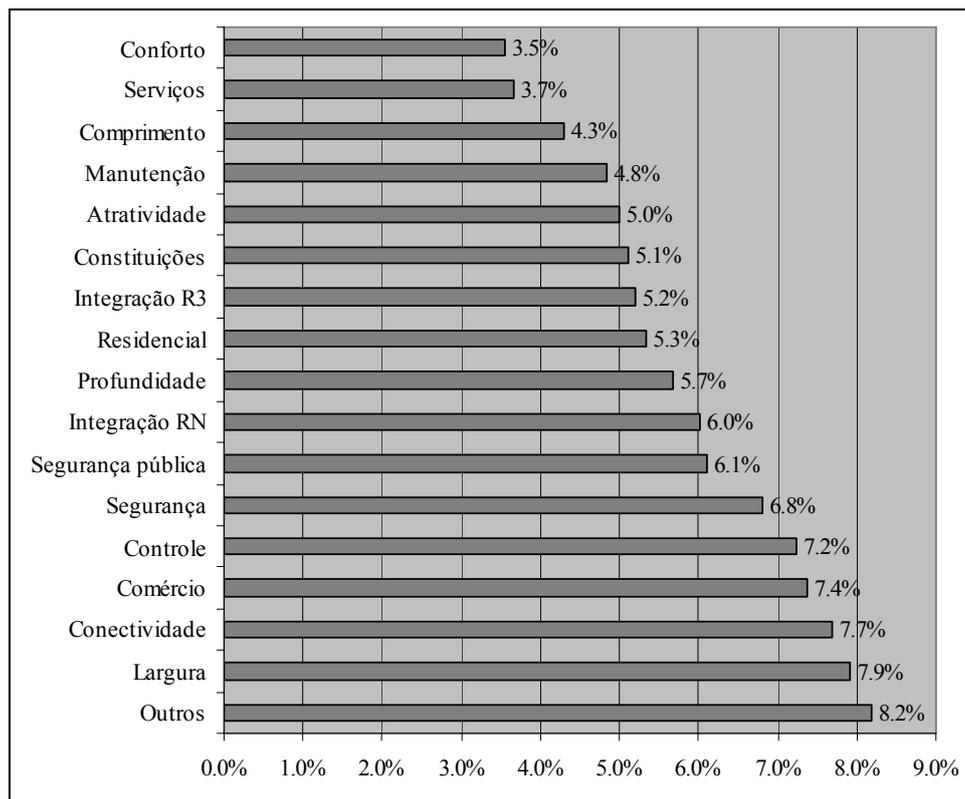
O modelo replicado em planilhas eletrônicas serve muito bem para criar estimativas e cenários de teste para a área de intervenção. No entanto, sua aplicação deve evitar ultrapassar os valores máximos e mínimos utilizados na concepção da rede. Desse modo, os cenários criados mantêm-se em um intervalo pré-determinado, e os valores que extrapolam esse intervalo estão fora da ação de

compreensão da rede neural artificial.

### 5.2.2. Importância relativa das variáveis

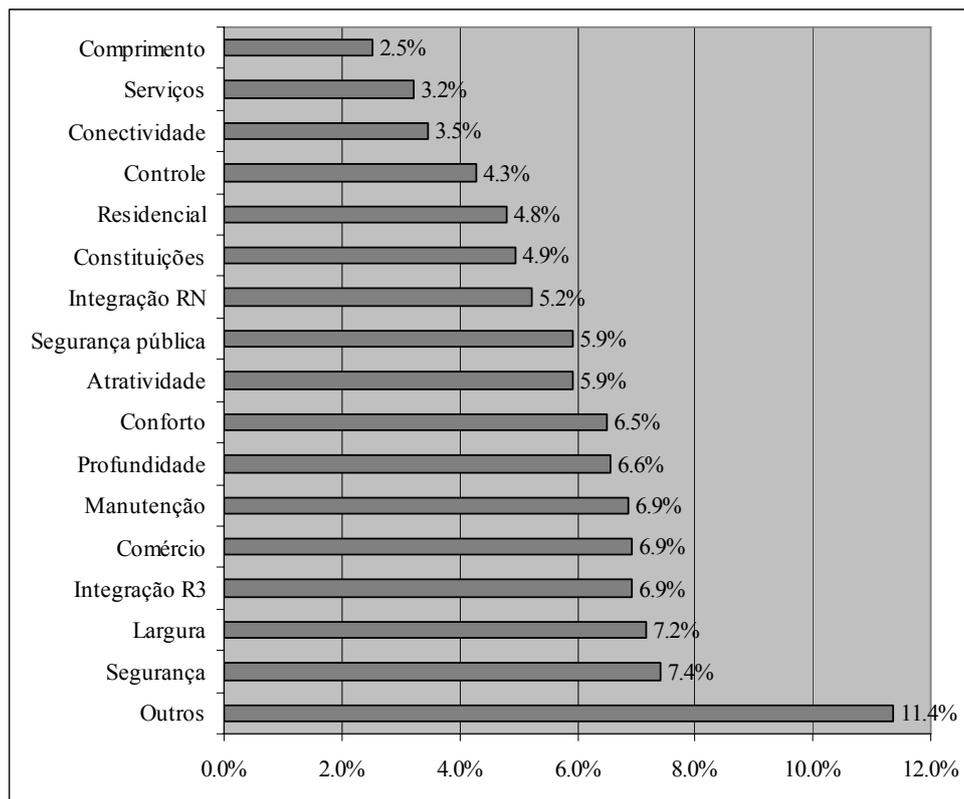
Garson (1991) desenvolveu um método de análise que, através do particionamento dos pesos das conexões, consegue determinar a importância das variáveis para o modelo. Assim, pode-se determinar a classificação de importância das variáveis do modelo através do peso das conexões, ou seja, conexões com pesos maiores resultaram em uma maior excitação do neurônio artificial naquele nó. Somando-se essas conexões, tem-se o valor total do ponderador.

No modelo de pedestres em movimento, a importância das variáveis (Gráfico 4) ficou distribuída entre um mínimo de 3,5% da variável ‘conforto’ até 8,2% da variável ‘outros atratores’. A diferença entre os valores mínimos e máximos de importância ficou apenas em 4,7%, que é uma diferença estatisticamente pequena. Mesmo que as variáveis apresentem sua importância em uma faixa pequena de variação, algumas considerações podem ser feitas relacionando a diferença dos valores alcançados em cada modelo.



**Gráfico 4 - Importância das variáveis no fluxo de pedestres em movimento segundo o método de Garson (1991). Fonte: original do autor.**

O modelo de pedestres parados apresentou uma variação maior de importância (Gráfico 5), cerca de 8,9% entre 2,5% da variável ‘comprimento’ até 11,4% dos ‘outros atratores’. O valor da diferença é quase o dobro do modelo de pedestres em movimento, que manteve também uma distribuição mais uniforme entre elas. A importância das variáveis para os pedestres parados varia quase constantemente da variável ‘comprimento’ para ‘segurança’ com uma diferença de 4,9%. No entanto, entre a variável mais importante ‘outros atratores’ e o segundo lugar ‘segurança’, o valor da diferença foi de 4%, uma diferença extremamente grande para o modelo.



**Gráfico 5 - Importância das variáveis no fluxo de pedestres parados segundo o método de Garson (1991). Fonte: original do autor.**

As medidas de desempenho ‘conforto’, ‘manutenção’ e ‘atratividade’ têm uma importância relativamente baixa no modelo de pedestres em movimento não influenciando muito no fluxo de pedestres da área estudada. De certo modo, este comportamento já era esperado, pois em relação a essas medidas qualitativas, o fluxo de pedestres em movimento é independente, ou seja, tanto o ‘conforto’, como a ‘manutenção’ e ‘atratividade’ somente incrementam o espaço para receber os pedestres em movimento.

No entanto, quando elas foram comparadas no modelo de pedestres parados demonstraram importâncias maiores. Os pedestres parados têm um comportamento diferente dos em movimento, com uma dinâmica diferenciada, o que faz com que os pedestres parem movidos por impulso de olhar uma vitrina ou sentar-se em um banco em um espaço interessante para descansar, admirando um entorno agradável (atratividade). Da mesma forma, para essas calçadas receberem esses pedestres devem ter um tratamento melhor, com pavimento de

melhor qualidade, não possuem lixo acumulado (manutenção) e, além de uma largura útil maior, menor número de mobiliário público obstruindo o espaço (conforto), entre outros. Com base em suas formulações matemáticas, Helbing (1992) afirmou que, para ficar parado, o pedestre deve encontrar uma força que vença o impulso de continuar caminhando, e depois só voltará a tomar o seu caminho, quando a força que o impele a retornar ao movimento for maior que a vontade de continuar estável.

A medida de desempenho ‘comprimento’ teve a importância mais baixa do modelo de pedestres parados, e também uma importância baixa no de pedestres em movimento. Esse comportamento pode estar associado à desvinculação dos pedestres com a distância métrica do passeio em que se locomove. Contudo, não se está afirmando que o pedestre, ao locomover-se, não se importará em percorrer grandes distâncias, e sim, que ele é pouco influenciado pela condição métrica da distância do passeio.

A ‘largura’ obteve uma importância considerável para os modelos, estando em segundo lugar, com 7,9% para pedestres em movimento e, em terceiro lugar, para o modelo de pedestres parados com 7,2%. O HMC (2000) demonstra que entre os fatores responsáveis pelo fluxo de pedestres está a largura, como relação do espaço e da velocidade. O alto peso atribuído pela rede à ‘largura’ determina seu papel no fluxo de pedestres. O pedestre possui necessidades específicas considerando a ‘largura’ de uma via, mas devido a sua condição de poder saltar pequenos obstáculos e se desviar de mobiliários públicos maldispostos na calçada e de outros pedestres, essa necessidade é relegada à segundo plano. No entanto, uma atenção especial deve ser dada à ‘largura’ do passeio em si, para que nos projetos haja maneiras de calcular o passeio para o fluxo estimado de pedestres e não de acordo com a conveniência de incorporadoras.

As MDs ‘segurança’ e ‘segurança pública’ obtiveram bons índices de importância no modelo em movimento, com 6,8% e 6,1% e, no modelo de

pedestres parados, 7,4% e 5,9% respectivamente. A ‘segurança’ é importante por criar no pedestre um sentimento de proteção ao se locomover ou desfrutar de um espaço, de modo que procure as calçadas com menor possibilidade de conflito com outros meios de locomoção (Landis, 2001). A ‘segurança pública’ também reflete o sentimento de proteção do pedestre, mas, ao contrário da anterior, ela é relativa aos perigos como assaltos, furtos e demais tipos de agressões a que o pedestre está sujeito quando está nos passeios. Dessa forma, fica comprovada a importância de “sentir-se seguro” para o pedestre que caminha pelas calçadas.

Na análise do movimento, os atratores têm papéis diferenciados quanto à sua importância para os modelos. Nesse caso, algumas considerações devem ser feitas em relação aos ‘outros atratores’, que têm a maior importância nos dois modelos, 8,2% no de movimento e 11,4% no modelo de pedestres parados. Esse tipo de classe caracteriza os atratores como institucionais, de recreação, religiosos, entre outros, e são exceções comparados aos encontrados na área, sendo que a sua importância se deve a esta diferenciação.

Os ‘atratores de serviço’ tiveram a menor importância entre os atratores para ambos os modelos, com 3,7% no modelo de movimento e 3,2% no de parados. Esses atratores são aqueles voltados à prestação de serviços para a população, como bancos, casas lotéricas, entre outros. Seu desempenho baixo pode estar vinculado ao fato desse tipo de atrator ter pouca importância como gerador de viagens a pé e, por isso, necessite se situar próximo a atratores mais fortes. Outra hipótese é que eles estão sempre próximos dos ‘atratores comerciais’, e o fluxo originado especificamente pelos de serviço fique incluído na movimentação comercial.

Os ‘atratores residenciais’, com 5,3% de movimento e 4,8% parados, têm uma importância média em ambos os modelos para a movimentação peatonal nessa área. Esses atratores são responsáveis por originarem a maioria das viagens, isso por serem o domicílio dos pedestres. No entanto, as viagens que partem da casa dos pedestres não têm tanta importância para o fluxo, pois se

originam de diversos locais ao longo da malha urbana, ao contrário das geradas pelo comércio, que representa o destino das viagens, tanto para o trabalho, quanto para compras.

Os ‘atratores comerciais’ tiveram uma importância alta no modelo de pedestres em movimento, com 7,4%, e também no de parados, com 6,9%. Isso já era esperado, já que esses atratores são os responsáveis pelo destino da maioria das viagens do dia-a-dia dos pedestres. Contudo, esperava-se uma importância maior para esse atrator que ficou em quarto lugar em ambos os modelos. Isso lança uma questão interessante para a movimentação peatonal nos centros das cidades urbanas de tecido tradicional, pois os ‘atratores comerciais’ por mais que sejam o destino de muitos pedestres estão em igual ou menor importância que algumas medidas sintáticas e de desempenho. Isto confirma a afirmação de Hillier (1994) de que os atratores dependem de fatores configuracionais para potencializar o fluxo.

As medidas sintáticas foram as que mais variaram entre um e outro modelo. Um bom exemplo é a medida sintática de ‘conectividade’, que no modelo de pedestres parados ficou com apenas 3,5%, no antepenúltimo lugar, e no de movimento com 7,7%, ou seja, o terceiro lugar. A ‘conectividade’ refere-se à quantidade de linhas que se conectam diretamente à linha axial avaliada, e dessa maneira representa quantos espaços vizinhos estão diretamente ligados. Na pesquisa de Silva (2004), o movimento de pedestres ocorria nas linhas que possuíam a maior ‘conectividade’ do sistema. Por mais que esse fato não tenha ocorrido nesta pesquisa, que não apresentou nenhuma correlação muito forte entre qualquer uma das variáveis de entrada e o fluxo de pedestres (Anexo C), sua importância foi grande quando utilizada em conjunto com outras variáveis. É interessante o fato de medidas locais serem importantes para uma área bem integrada, pois esta área não seria bem integrada se não tivesse grande conectividade entre suas linhas axiais. A medida ‘controle’, da mesma forma que a ‘conectividade’, obteve melhor desempenho no modelo de pedestres em

movimento com 7,2%, e somente 4,3% no de parados, portanto a relação entre elas ficou muito próxima. A relação entre essas variáveis será estudada mais detalhadamente no decorrer desse trabalho.

Por outro lado, a ‘integração global’ ficou praticamente estável nos dois modelos, com 6,0% no de movimento e 5,2% no de parados. Na literatura de sintaxe, essa medida é associada ao movimento realizado em grande escala. Nesse tipo de deslocamento as pessoas analisam as características do espaço de uma maneira mais global, o que é coerente com a função da área de centro comercial da cidade de Santa Maria. O fluxo de pedestres causados por essa medida é definido como movimento natural, pois em geral é efetuado pelo visitante que passa por núcleos de vizinhança para chegar ao seu destino. A partir disso, pode-se argumentar que o movimento nessa área é explicado pelos pedestres visitantes que se deslocam de outros lugares para essa área.

A ‘integração local’ no modelo de movimento obteve 5,2% e, no modelo de parados, 6,9%. Tanto quanto a ‘integração global’, a ‘integração local’ também trata da estrutura do assentamento, mas, nesse caso, no nível da vizinhança. Dessa maneira, pode-se entender o sistema a partir de dois níveis de integração. A ‘integração local’ é a melhor para prever o movimento de pequena escala, pois viagens locais tendem a ser mais curtas e utilizar a geração de movimento da malha de uma maneira mais local, isto é, o movimento local tende a ser mais interno ao assentamento do que o global. O interessante dessa medida local foi a importância maior no modelo de pedestres parados do que no de pedestres em movimento. O raio de integração dos pedestres parados é menor que o dos pedestres em movimento. Desse modo, tendem a buscar áreas que possuam a lógica de sua vizinhança. As pessoas encontram-se para efetuar diversas atividades, usando o espaço local para esses encontros.

A medida sintática ‘profundidade’ relaciona o quão rasa ou profunda é uma linha axial em relação a todas as demais. Essa medida está vinculada às medidas de ‘integração global’ e ‘integração local’, que também calculam a

profundidade, mas de modo diferente e com outros parâmetros. Devido a essas condições, observou-se que a medida de 'profundidade' obteve a importância de 5,7% para o modelo de pedestres em movimento e de 6,6% para pedestres parados, justamente entre a 'integração global' e 'local'. Para os modelos, essas medidas têm uma importância relativamente alta, pois, mesmo medindo basicamente a 'profundidade', nenhuma delas teve um desempenho baixo a ponto de poder ser descartada. No entanto, nenhuma dessas medidas sintáticas obteve uma nota que sozinha conseguisse explicar a movimentação independente das demais. As medidas medem a profundidade, mas de modos diferentes para os modelos e são necessárias em importância para o entendimento e determinação do fluxo de pedestres.

Com importâncias praticamente iguais, a medida 'constituições' teve um desempenho bom. No modelo de movimento atingiu 5,1%, e 4,9% no de parados. No entanto, devido à sua condição de interligar os espaços públicos e privado, esperava-se que esta variável tivesse um desempenho muito maior que as outras. Hillier (1984) define que esta medida local é uma importante propriedade por estabelecer como ocorre o controle de acesso e movimento do e para o interior das edificações. Porém, enquanto importância para os modelos, é responsável por menos que as medidas de 'integração'. Cada vez que uma porta é aberta, ou fechada, ela muda os padrões de configuração do espaço local. Entretanto, a integração global não muda e, mais do que isso, ela parece condicionar a determinação de onde são colocadas as ligações entre os espaços (Hillier, 1996). Ocupar espaços significa estar ciente das relações que existirão entre eles e, do mesmo modo, significa se mover por entre eles. É importante salientar como cada mudança do espaço local afeta a dinâmica global em seu padrão e quantidade de integração, da mesma maneira que os padrões globais foram responsáveis pelas decisões locais. Uma avaliação será realizada posteriormente para avaliar se essa medida é co-dependente de outras, tanto das sintáticas quanto dos atratores.

### 5.2.3. Teste de sensibilidade dos modelos

Os testes de sensibilidade são feitos nos modelos para determinar quanto cada variável de entrada influencia na de saída. No caso das redes neurais, as conexões dos neurônios podem apresentar variáveis importantes para o modelo (Método de Garson), mas isso não significa que essa importância representará, nesse caso, uma relação direta entre o aumento da variável e o incremento ao fluxo de pedestres. Desse modo, às vezes, a maior conexão não implica um efeito maior, ou seja, conexões menores podem estar associadas entre si e obter uma saída maior.

O teste de sensibilidade é efetuado criando cenários distintos com as variáveis, determinando a influência no *output* do modelo. Nesta pesquisa foram criados três tipos de avaliação a partir do estudo de caso, ou seja, três sistemas hipotéticos, mantendo todas as variáveis de entrada em seus valores máximos, médios e mínimos para a saída de pedestres em movimento (Tabela 24) e pedestres parados (Tabela 25). Em cada cenário específico é alterado o valor de uma variável por vez, em intervalos regulares, para observar qual foi a saída simulada resultante. Desse modo, evidencia-se a variação dos fluxos de pedestres que correspondem à mudança de cada uma das variáveis para os valores mínimos, médios e máximos das demais.

As variáveis do espaço modificam o fluxo de modos diferentes e em situações diferentes. O gráfico 6a, no modelo de pedestres em movimento, mostra comportamentos diferenciados nos três tipos de sistemas, ou seja, as variáveis influenciam o fluxo de diversos modos. Já no gráfico 6b, as variáveis praticamente só se distinguem em importância quando o sistema está com seus valores mínimos. Nos valores máximos todo o incremento se mantém constante.

## Variação do fluxo de pedestres em movimento

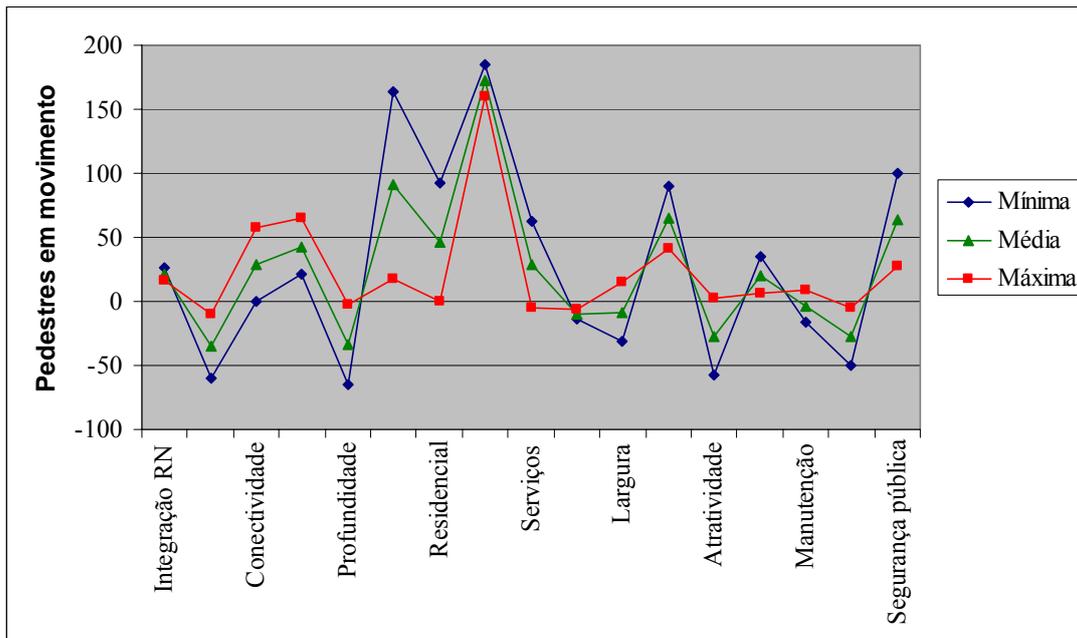
**Tabela 24 - Variação da sensibilidade do fluxo de pedestres em movimento de cada variável para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

	Mínima	%	Média	%	Máxima	%
Integração global	25.8521	9.88%	21.2662	8.13%	16.6803	6.38%
Integração local	-60.5390	23.15%	-35.2624	13.48%	-9.9858	3.82%
Conectividade	0.2943	0.11%	28.5911	10.93%	56.8878	21.75%
Controle	21.4269	8.19%	42.9599	16.42%	64.4929	24.66%
Profundidade	-64.6368	24.71%	-33.8582	12.94%	-3.0796	1.18%
Constituições	164.0368	62.71%	90.8948	34.75%	17.7528	6.79%
Residencial	92.8391	35.49%	46.6367	17.83%	0.4343	0.17%
Comércio	184.9885	70.73%	172.7127	66.03%	160.4370	61.34%
Serviços	62.8231	24.02%	29.1289	11.14%	-4.5654	1.75%
Outros atratores	-14.1138	5.40%	-10.1813	3.89%	-6.2488	2.39%
Largura	-30.8975	11.81%	-8.2026	3.14%	14.4923	5.54%
Comprimento	89.5515	34.24%	65.3493	24.98%	41.1472	15.73%
Atratividade	-57.8569	22.12%	-27.4635	10.50%	2.9299	1.12%
Conforto	34.8814	13.34%	20.4160	7.81%	5.9507	2.28%
Manutenção	-16.6435	6.36%	-4.1637	1.59%	8.3162	3.18%
Segurança	-50.4326	19.28%	-27.6511	10.57%	-4.8695	1.86%
Segurança pública	100.0693	38.26%	64.0572	24.49%	28.0450	10.72%

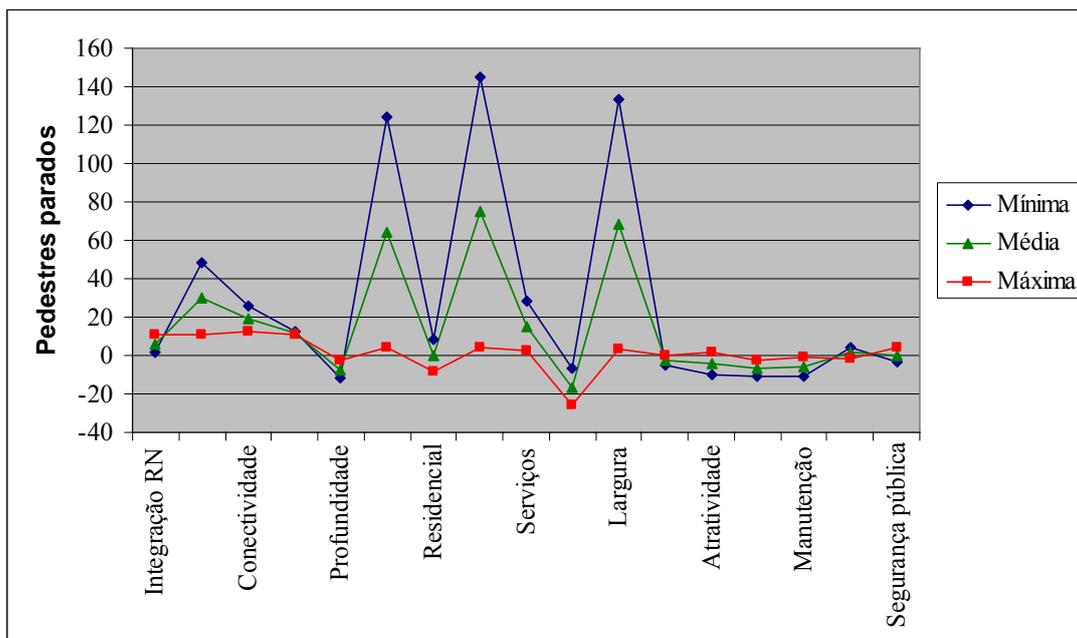
## Variação do fluxo de pedestres parados

**Tabela 25 - Variação da sensibilidade do fluxo de pedestres parados de cada variável para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

	Mínima	%	Média	%	Máxima	%
Integração global	2.0196	1.16%	6.2490	3.60%	10.4784	6.04%
Integração local	48.5998	28.00%	29.8058	17.17%	11.0118	6.34%
Conectividade	25.8585	14.90%	19.2486	11.09%	12.6386	7.28%
Controle	12.8005	7.38%	11.9954	6.91%	11.1904	6.45%
Profundidade	-11.5965	6.68%	-7.1261	4.11%	-2.6556	1.53%
Constituições	123.7558	71.30%	63.7591	36.74%	3.7625	2.17%
Residencial	8.4773	4.88%	-0.1355	0.08%	-8.7483	5.04%
Comércio	144.9149	83.50%	74.7166	43.05%	4.5183	2.60%
Serviços	28.2641	16.28%	15.2443	8.78%	2.2246	1.28%
Outros atratores	-6.9949	4.03%	-16.4227	9.46%	-25.8505	14.89%
Largura	133.3222	76.82%	68.3156	39.36%	3.3090	1.91%
Comprimento	-4.6306	2.67%	-2.1865	1.26%	0.2576	0.15%
Atratividade	-9.6289	5.55%	-3.7839	2.18%	2.0611	1.19%
Conforto	-10.8293	6.24%	-6.5117	3.75%	-2.1940	1.26%
Manutenção	-10.6270	6.12%	-5.5233	3.18%	-0.4197	0.24%
Segurança	4.5397	2.62%	1.5262	0.88%	-1.4873	0.86%
Segurança pública	-3.5316	2.03%	0.1991	0.11%	3.9298	2.26%



(a)



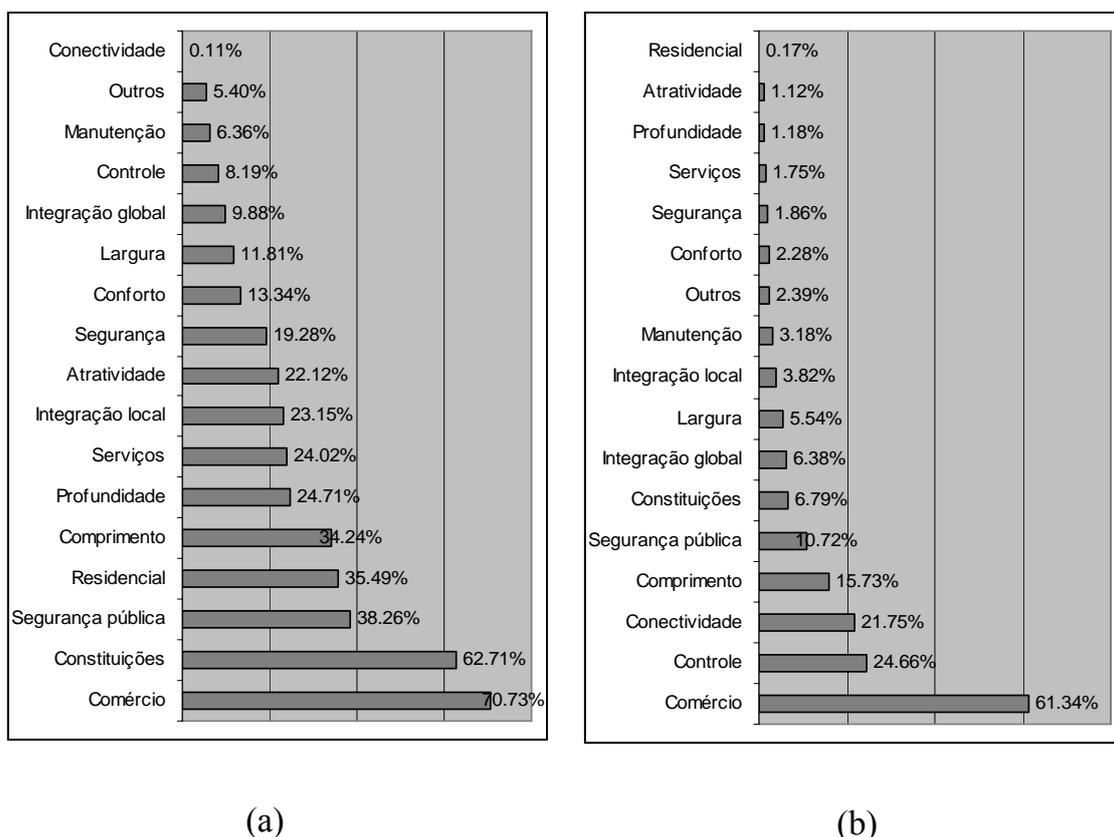
(b)

Gráfico 6 - Variação da sensibilidade do número de pedestres em movimento (a) e parados (b) conforme cada variável do modelo para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.

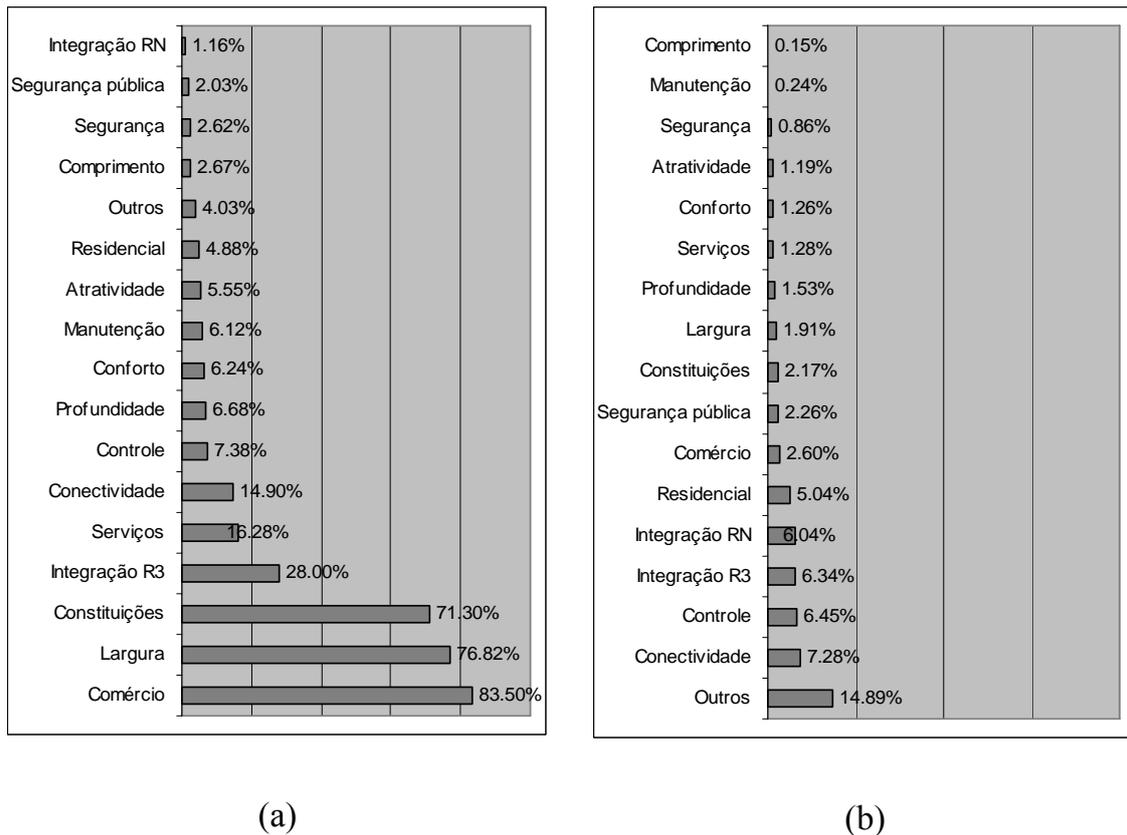
Com a análise de sensibilidade pode-se avaliar melhor como se comportam as variáveis do sistema e visualizar se a importância atribuída pelo

modelo é positiva ou negativa para o fluxo. Mesmo uma variável importante para os modelos pode vir a reforçar negativamente o número de pedestres, diminuindo seu número em detrimento do aumento da variável.

A partir do teste de sensibilidade, alguns efeitos das variáveis ficam mais claros, como a relação entre elas que faz com que tenham desempenhos diferentes dada uma situação específica. O fluxo de pedestres se comporta de uma maneira diferente para cada calçada do sistema, pois é a relação de todas as variáveis entre si que transforma o fenômeno da movimentação. Nos gráficos 7a, 7b, 8a e 8b evidencia-se a diferenciação de estímulo do fluxo com sistemas diferentes.



**Gráfico 7 - Relação entre a sensibilidade das variáveis no fluxo de pedestres em movimento para os valores mínimos (a) e máximos (b). Fonte: original do autor.**



**Gráfico 8 - Relação entre a sensibilidade das variáveis no fluxo de pedestres parados para os valores mínimos (a) e máximos (b). Fonte: original do autor.**

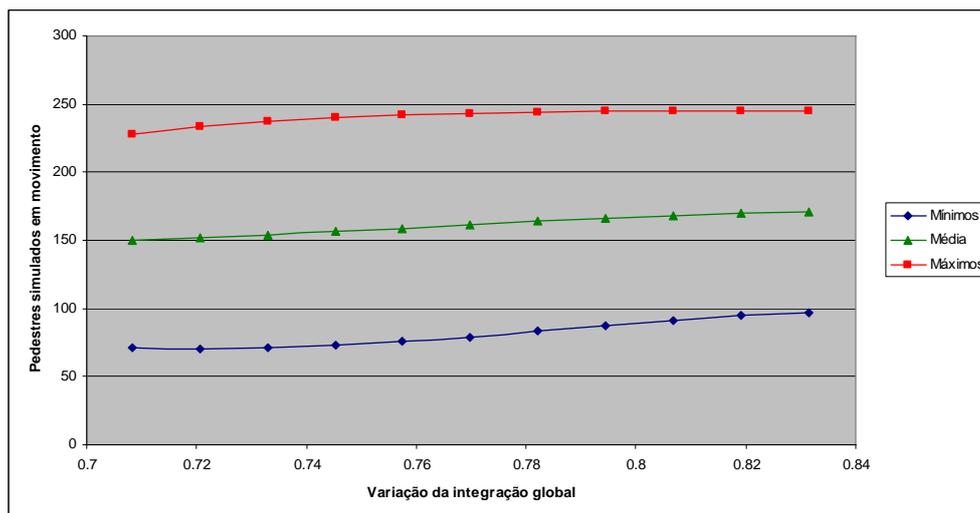
Essa é uma maneira muito importante de avaliar os efeitos das variáveis no fluxo, pois, de certo modo, podem-se criar analogias com realidades similares que possuam variáveis correspondentes e desse modo julgar como as mudanças delas afetam os comportamentos desse fenômeno urbano.

### 5.2.3.1. Integração global

A ‘integração global’ é uma variável de sintaxe espacial muito importante para o espaço urbano. Sua função é relacionar todas as linhas axiais do sistema entre si, indicando quantos passos topológicos são necessários para que uma linha alcance todas as demais, ponderado pela quantidade de linhas do sistema, ou seja, com a integração global pode-se comparar as linhas do sistema estudado e de sistemas diferentes entre si.

Embora a ‘integração global’ tenha um bom índice de importância para o modelo de pedestres em movimento (Gráfico 4) e para o de pedestres parados

(Gráfico 5), ela não chega a aumentar muito o fluxo em si, comparada com outras variáveis. No entanto, se a análise partir dos pedestres em movimento em um sistema com valores mínimos (Gráfico 9), pode-se perceber um aumento de quase 10% no fluxo de pedestres, ou seja, 25 pedestres, o que é um número considerável comparando com o valor mínimo das outras variáveis.

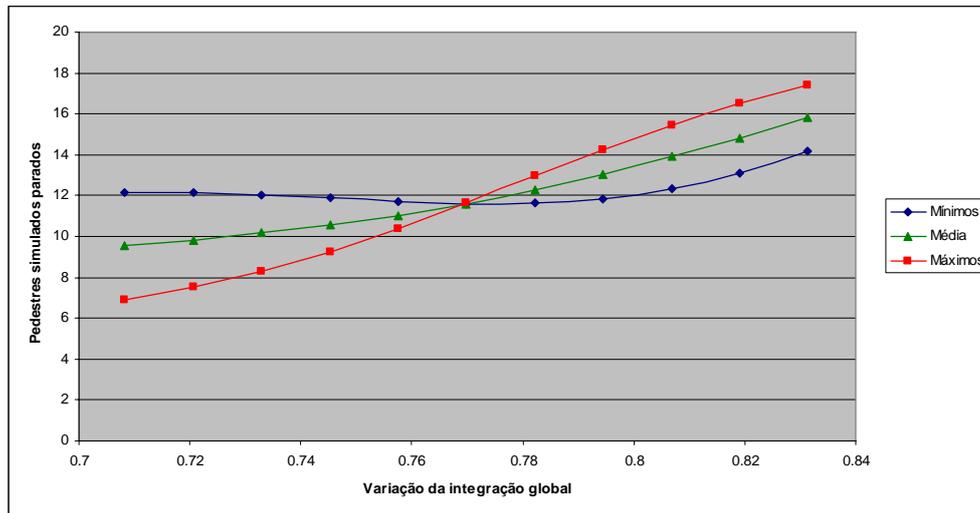


**Gráfico 9 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da integração global para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Se for analisado que, quanto mais integrada uma linha axial estiver, maior será a variação direta no fluxo de pedestres em movimento, ou seja, existirá um aumento positivo em ambos os sistemas, isso mostra a importância dessa variável morfológica para o movimento natural. Esse tipo de movimento, implementado pelas características globais do sistema, é típico de movimentos de visitantes, ou seja, movimento de passagem, e se for levado em conta que essa área é o centro comercial da cidade, esse tipo de movimento parece estar de acordo.

No modelo de pedestres parados (Gráfico 10), a ‘integração global’ mostra um comportamento diferente. Quando as variáveis estão no mínimo, ela mostra o menor incremento positivo do modelo de parados, porém, com as

outras variáveis no máximo, seu valor é maior. O aumento do fluxo a partir das variáveis para pedestres parados é diferente do aumento para pedestres em movimento. No caso dos pedestres parados, essa medida global é de pouco incremento para esse tipo de dinâmica.



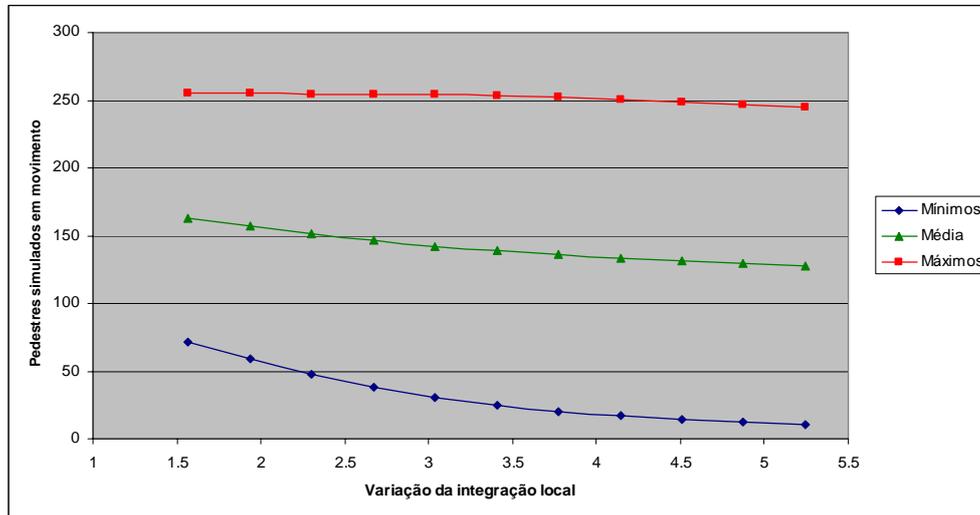
**Gráfico 10 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da integração global para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Após o desenvolvimento das análises dos modelos, encontrou-se um padrão no efeito das variáveis configuracionais para os modelos de pedestres parados e em movimento. No de pedestres parados, as variáveis locais tendem a explicar melhor sua relação. No entanto, para o movimento de pedestres a potencialização criada pelas medidas sintáticas é dada por toda a malha, ou seja, por medidas locais.

#### 5.2.3.2. Integração local

Nos movimentos de pedestres que ocorrem localmente na vizinhança, a ‘integração local’ normalmente mostra melhores correlações do que a global (Cutini, 2004). Essa variável demonstrou ter um efeito negativo para o fluxo da área, determinando que nessa área o fluxo de pedestres que mais aparece é

motivado pelos padrões globais, ou seja, pelo movimento de visitantes, exatamente como a ‘integração global’ certificou anteriormente, com diminuição no número de pedestres em movimento (Gráfico 11).

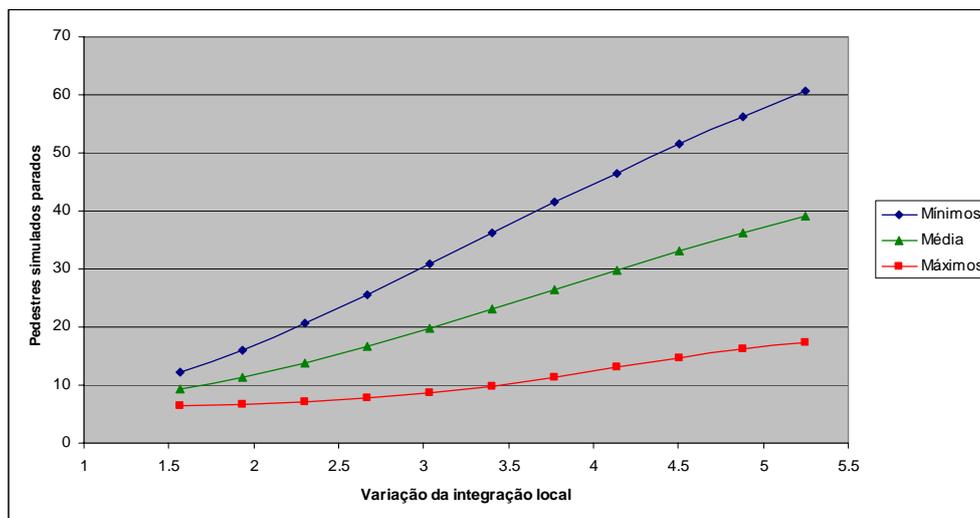


**Gráfico 11 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da integração local para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Outro ponto que vem se afirmando neste trabalho é apresentado novamente aqui, isto é, a determinação das variáveis locais no modelo de pedestres parados. Em sistemas no mínimo, há um aumento de quase 50 pedestres, ou seja, 28% de incremento do número de pedestres parados (Gráfico 12). Nessa área, as calçadas que possuem os valores no mínimo estão geralmente associadas a um entorno de áreas mais residenciais e segregadas. Quando a ‘integração local’ se torna maior, se intensifica o núcleo da vizinhança o que cria mecanismos geradores de contato, fazendo com que o habitante da área utilize o espaço.

Quando os valores das variáveis no modelo de pedestres parados são colocados no máximo, a influência da ‘integração local’ cai. Mesmo assim ela continua a determinar um aumento na quantidade de pedestres parados na área, e embora menor, a quantidade de pedestres continua aumentando e sua variação

ainda chega a 6,34%.



**Gráfico 12 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da integração local para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

O movimento é determinado pelo espaço (Hillier, 1996) e da mesma maneira a geração de contato entre os habitantes também usa esse espaço. Nessa área, a vizinhança determina os encontros de pedestres criando zonas de encontro reforçadas pelos efeitos configuracionais da malha urbana.

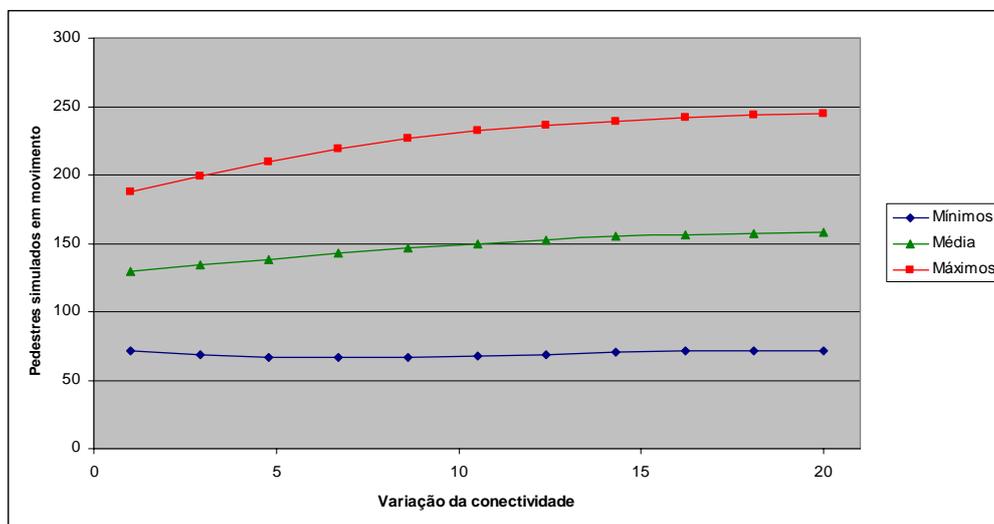
### 5.2.3.3. Conectividade

A ‘conectividade’ é uma medida muito importante para a sintaxe espacial, ou seja, para a morfologia urbana. Sua variação, além de ter importância para as conexões dos modelos, é responsável por implementar o fluxo de pedestres nas cidades. Nessa área sua influência é marcante e de extrema importância.

Essa variável apresentou um desempenho de geração de fluxo congruente com sua importância para o modelo. Porém, para o modelo de pedestres em movimento (Gráfico 13), o efeito apenas reforça o fluxo quando o sistema está no máximo, ou seja, quando as variáveis estão todas no mínimo, a

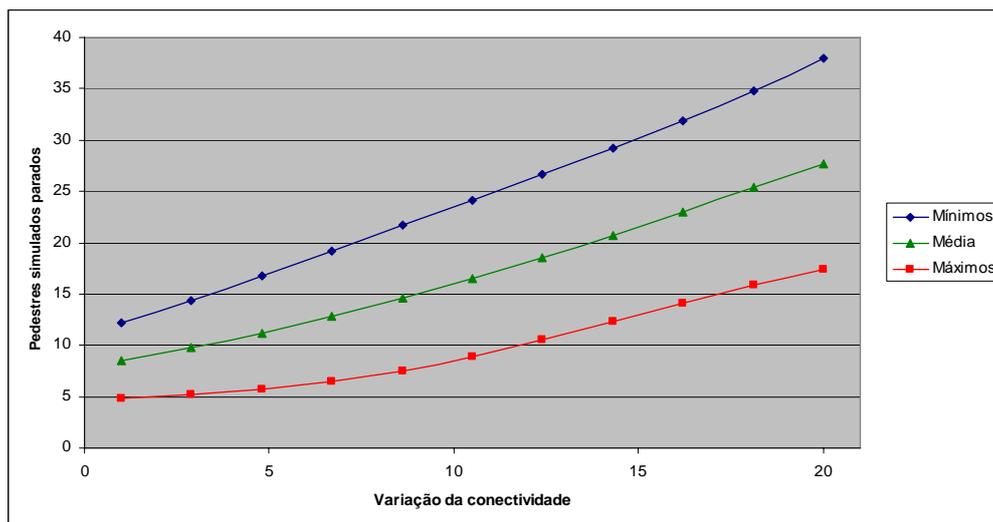
variação da ‘conectividade’ apenas altera o fluxo em 0,28 pedestres. Diferentemente, quando as variáveis estão no máximo, ela incrementa quase 57 pedestres.

Esta variável sintática é provavelmente dependente de outra(s) variável(is) para acentuar o fluxo de pedestres em movimento, pois seu efeito só aparece quando os valores estão no máximo. Somente com esse teste é impossível determinar como isso ocorre, e outro teste é necessário para essa avaliação, o que será apresentado posteriormente.



**Gráfico 13 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da conectividade para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

No modelo de pedestres parados, a ‘conectividade’ serve sempre para aumentar o fluxo de pedestres. Quando o modelo está no mínimo, ela aumenta quase 15% este movimento, quando está no máximo mais de 7% (Gráfico 14). A ‘conectividade’ é uma medida local, que parece ampliar as possibilidades de encontro de pedestres, independentemente de outras medidas sintáticas ou de atratores. No entanto, é necessário desenvolver mais testes para avaliar como funciona a co-dependência dessa variável relacionado-a com outras.

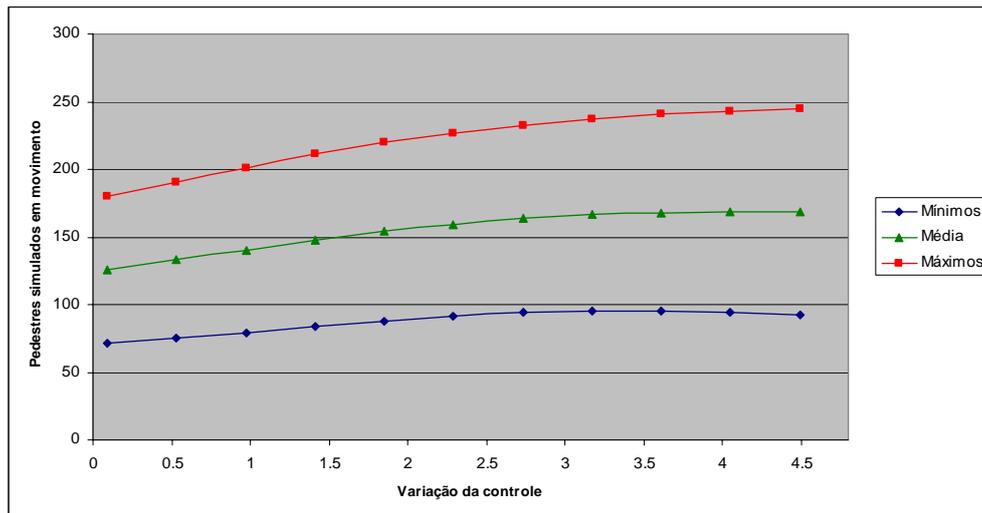


**Gráfico 14 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da conectividade para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

#### 5.2.3.4. Controle

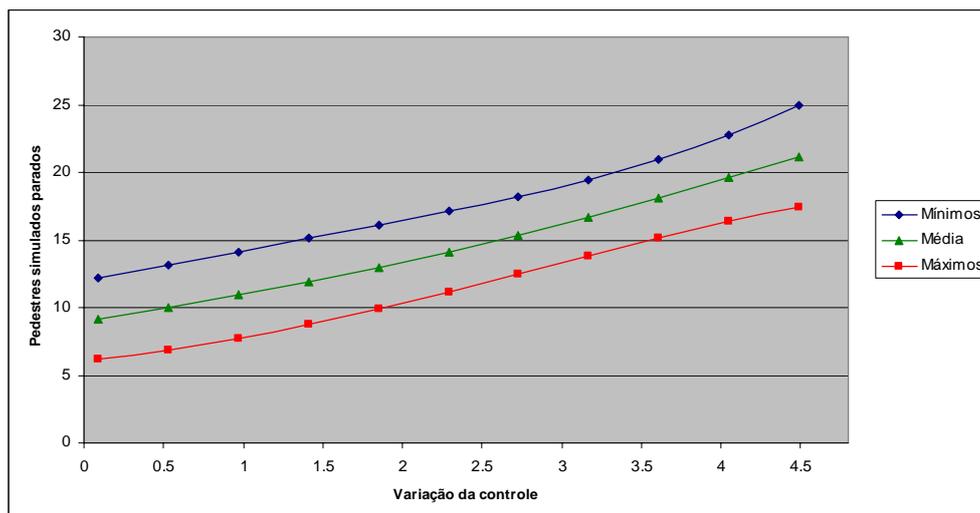
A medida de ‘controle’ está vinculada à idéia de como um espaço detém o domínio no âmbito de sua relação com outros espaços. Para ambos os modelos foram encontradas relações de sensibilidade positiva que crescem fluxo com o aumento do valor da variável. Essa medida teve desempenho muito semelhante à da medida ‘conectividade’, e esse comportamento, será avaliado mais detalhadamente adiante.

No modelo de pedestres em movimento, o acréscimo ficou em 21,42 pedestres com o mínimo das outras variáveis e 64,49 no máximo, o que resulta num aumento de 24,66% no fluxo (Gráfico 15). O desempenho da medida de ‘controle’ embora análoga ao da variável ‘conectividade’, teve desempenho melhor nesse caso e apresentou em todas as variações desempenho melhor. Quando as outras variáveis estão no mínimo, a variável ‘controle’ resultou em um acréscimo de fluxo acima de 21 pedestres, quase se equiparando ao desempenho de ‘integração global’.



**Gráfico 15 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação do controle para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

No desempenho do modelo parado, a variável ‘controle’ também apresentou atuação semelhante à ‘conectividade’, embora sua variação tenha se mantido praticamente igual nos três tipos de sistemas (Gráfico 16), máximos, mínimos e médios, com variação de menos de 1% . Conforme o ‘controle’ do espaço aumenta, o número de pedestres parados também cresce, não importando o nível das outras variáveis, demonstrando que essa medida é um potencializador de encontros de pedestres, não importando o tipo do sistema.



**Gráfico 16 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação do controle para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

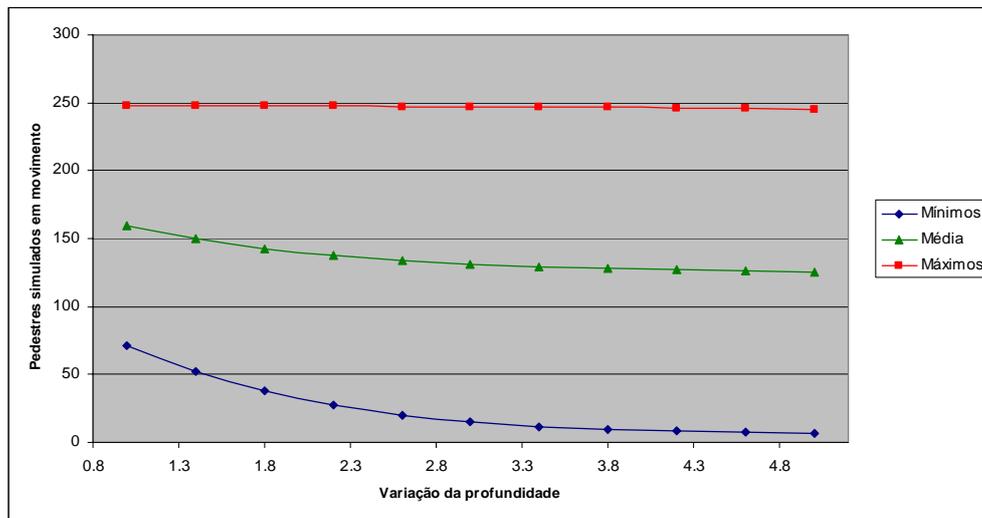
Ao criar os modelos não era esperado um bom desempenho da variável ‘controle’ pouco utilizada na literatura sobre sintaxe espacial. Ela demonstrou que é capaz de influenciar o deslocamento de pedestres e o número de encontros em qualquer tipo de sistema. Um estudo maior é necessário para analisar seu desempenho em conjunto com as outras variáveis sintáticas, o que será desenvolvido mais adiante neste trabalho.

#### 5.2.3.5. Profundidade

A medida ‘profundidade’ teve uma importância grande (Gráficos 4 e 5) para o modelo. Contudo, no ponto de vista do efeito de sua variação no fluxo de pedestres, seu desempenho foi negativo para pedestres parados e em movimento e nas três situações de sistema, máximos, médios e mínimos.

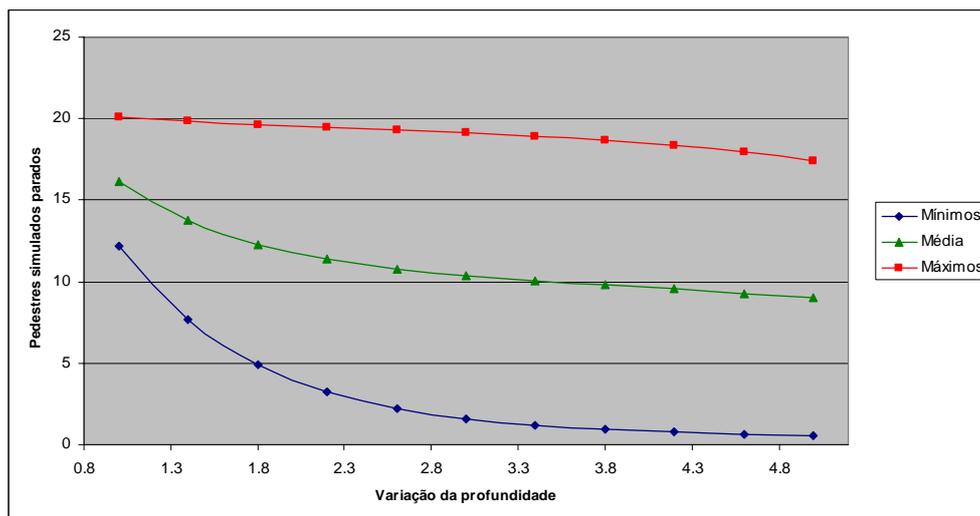
Para o movimento de pedestres, a ‘profundidade’ cria um decréscimo do fluxo de quase 25% quando o sistema tem suas variáveis no mínimo, porém, quando o sistema está no máximo, o decréscimo é de pouco mais de 1% (Gráfico 17). Esse tipo de comportamento valida as asserções sobre a segregação causada pela maior ‘profundidade’ no espaço urbano, o que favorece o morador e, em

casos extremos, cria áreas totalmente isoladas na cidade.



**Gráfico 17 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da profundidade para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Com o mesmo tipo de comportamento que o modelo de pedestres em movimento, o de pedestres parados ficou com uma diferença muito menor, de 6,68% de variação em sistemas mínimos e 1,53% em máximos (Gráfico 18). Embora menor, a ‘profundidade’ também atua de maneira negativa para o encontro de pedestres. O ponto mais propício para geração de encontros está em áreas mais integradas e com um maior número de conexões.



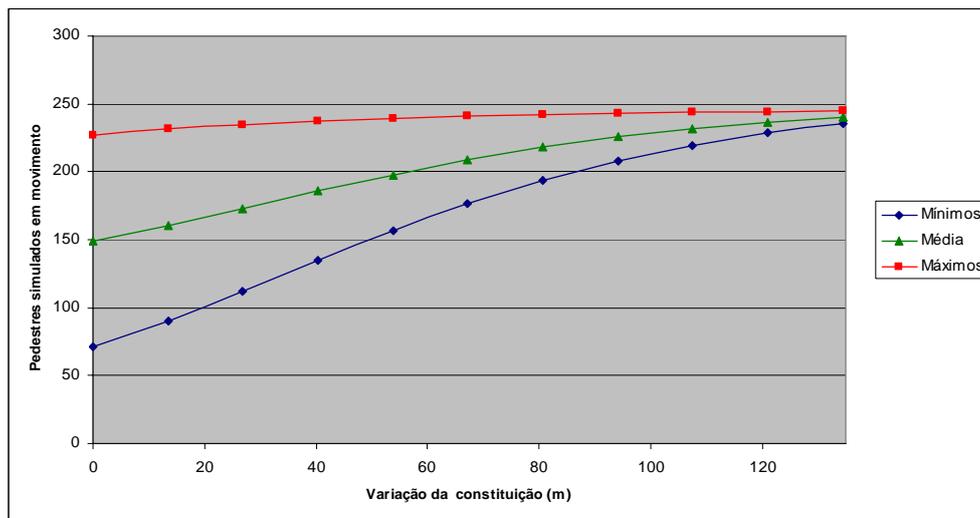
**Gráfico 18 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da profundidade para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Como a profundidade entra no cálculo de integração, pode-se notar uma semelhança entre os gráficos da ‘integração global’ e da ‘conectividade’ para o modelo de movimento, no entanto, eles têm variações inversas. A ‘profundidade’ é uma variável importante para o fluxo de pedestres e, embora negativa, ela é coerente com o encontrado em sistemas urbanos por outros pesquisadores (Rigatti, 1997).

#### 5.2.3.6. Constituições

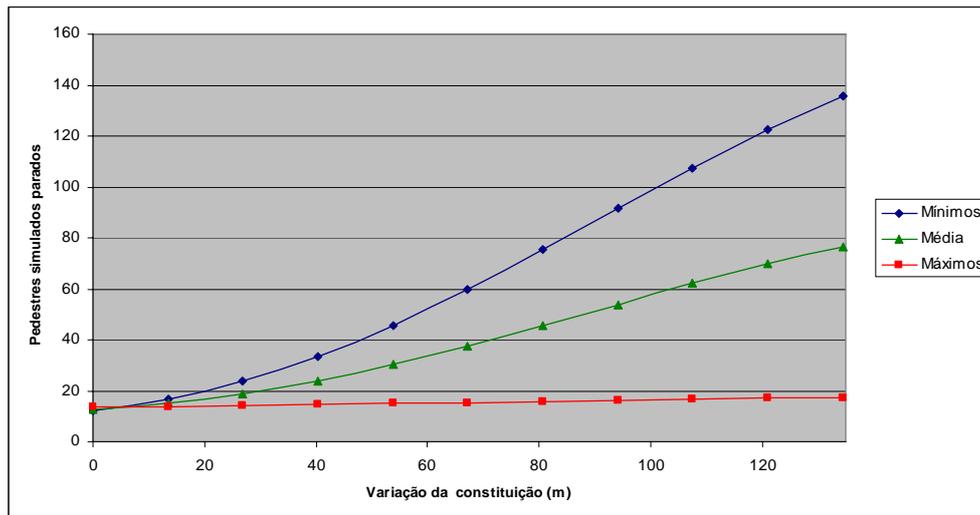
As ‘constituições’ são uma importante propriedade, pois criam a permeabilidade do sistema urbano, ou seja, fazem a ligação entre a entrada das edificações e as calçadas. Essa medida possibilita potencializar o fluxo de pedestres a partir da amplificação gerada pelos atratores.

De caráter sempre positivo, as ‘constituições’ incrementam o fluxo em sistemas com as variáveis no máximo, médio e mínimo. O maior aumento do fluxo de pedestres em movimento ocorre em sistemas no mínimo, representando 62,61% de aumento (Gráfico 19). Essa amplificação chega a mais de 164 pedestres, sendo a segunda variável com maior potencial.



**Gráfico 19 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação das constituições para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Nos pedestres parados, as ‘constituições’ aumentam o fluxo em 71,3% no mínimo ou 123,76 pedestres, e no máximo do sistema chega somente a 2,17% ou 3,76 pedestres (Gráfico 20). A partir dessas informações, observa-se que os pedestres parados preferem permanecer em locais bem constituídos, ou melhor, o número de pedestres parados está diretamente relacionado às aberturas do espaço privado para o público.

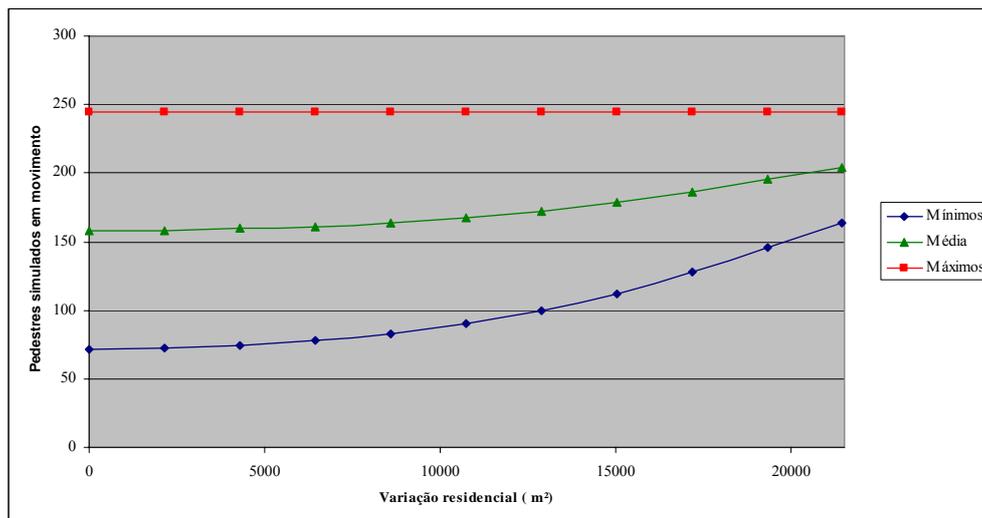


**Gráfico 20 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação das constituições para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Evidenciou-se que o aumento do número das ‘constituições’ resulta em acréscimo direto no fluxo de pedestres. Esse acréscimo ainda é maior quando o sistema está com as outras medidas nos mínimos. Dessa forma, as ‘constituições’ servem para potencializar o número de pedestres parados e em movimento. Um questionamento permaneceu: o aumento das ‘constituições’ potencializa somente os atratores ou tem o mesmo efeito com as outras medidas sintáticas? Esse teste será realizado posteriormente.

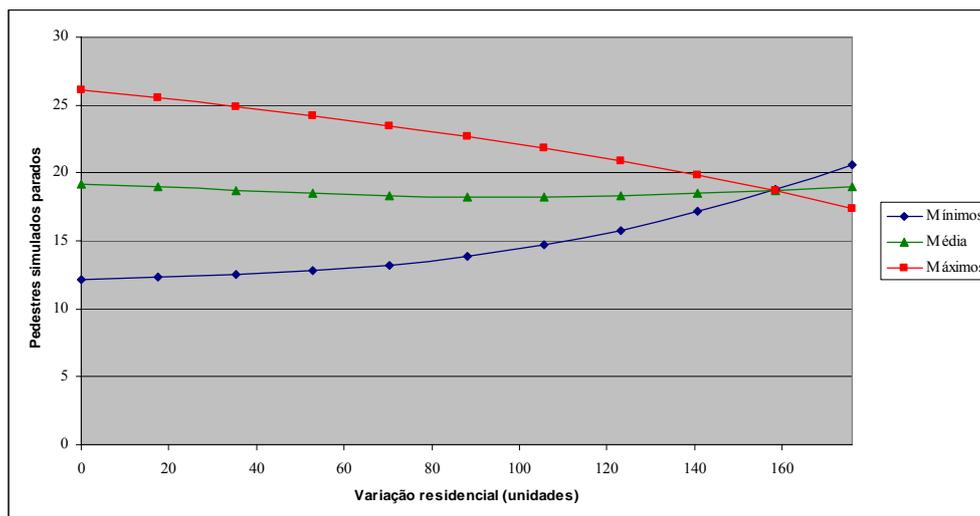
#### 5.2.3.7. Atratores residenciais

Os ‘atratores residenciais’ representam as moradias da população, determinando o ponto de origem das viagens para o trabalho. Contudo, ‘os atratores residenciais’ somente aumentam o fluxo em sistemas mínimos e médios, com implemento de 35,49% e 17,83% respectivamente (Gráfico 21). Em sistemas em que as variáveis estão no máximo, o ‘atrator residencial’ tem um desempenho muito baixo: 0,17%. As áreas residenciais geralmente não são as mais integradas da cidade, dessa forma esse desempenho explica como o fluxo de pedestres ocorre nestes locais.



**Gráfico 21 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da área dos atratores residenciais para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Semelhante ao anterior, no modelo de pedestres parados, as variáveis do sistema no mínimo aumentam o número de pedestres em quase 5%, mas quando o sistema está no máximo, elas diminuem os mesmos 5%. Esse comportamento se deve ao atrator residencial estimular mais as características da vizinhança, ou seja, potencializar quando o sistema possui as variáveis baixas.

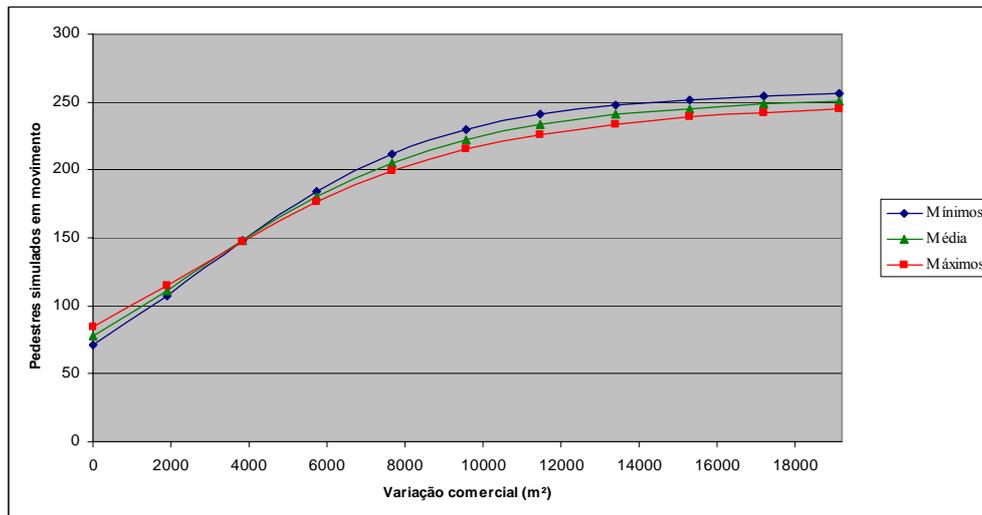


**Gráfico 22 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da área dos atratores residenciais para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Os ‘atratores residenciais’ mostraram que, em determinadas circunstâncias, são capazes de ampliar o movimento de pedestres e o número de encontros. As condições em que determinam mais acréscimo aos pedestres é quando o sistema tem características locais.

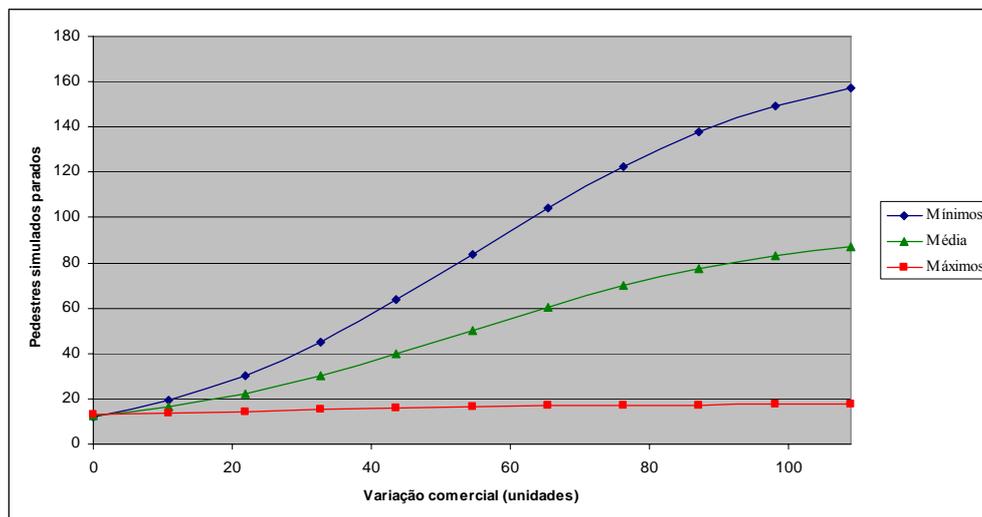
#### 5.2.3.8. Atratores comerciais

Os ‘atratores comerciais’ apresentam o maior aumento de fluxo para os modelos de pedestres em movimentação. Sozinhos são capazes de aumentar o fluxo de pedestres em 70,73% nos sistemas no mínimo e 61,34% em sistemas no máximo (Gráfico 23). Na parte inicial do aumento de atratores, eles dobram o fluxo de pedestres e, conforme o valor passa de 8000 m<sup>2</sup>, eles começam a diminuir sua atuação.



**Gráfico 23 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da área dos atratores comerciais para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

No modelo de pedestres parados, o aumento de pedestres parados só foi grande quando os ‘atratores comerciais’ estavam em um sistema com valores baixos de outras variáveis. No momento em que foram aumentados os valores do sistema, esse atrator não foi mais capaz de explicar o fluxo.

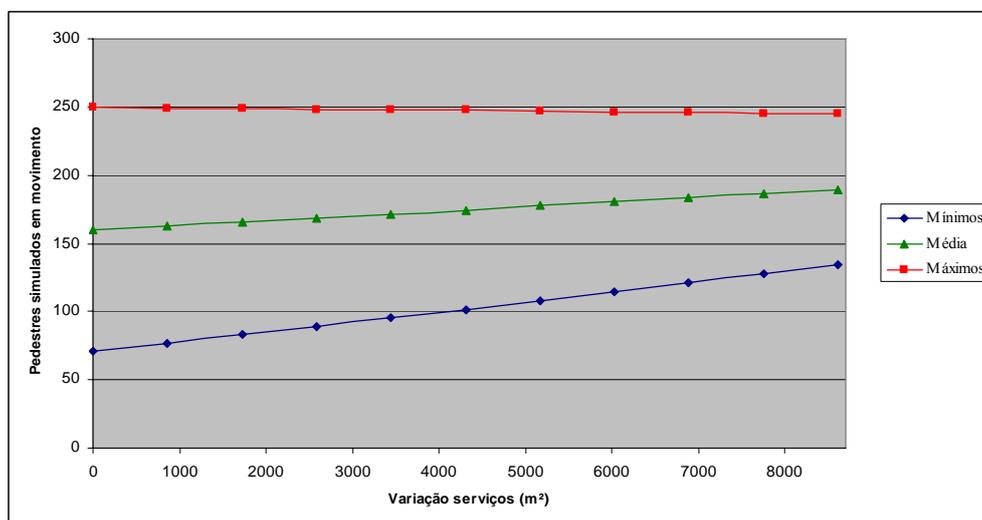


**Gráfico 24 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da área dos atratores comerciais para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Embora com grande potencial de aumentar o número de pedestres em movimento, não foi constatado que esse atrator tenha possibilidade de, sozinho, gerar atração. Isso ocorre pois todos os atratores colocados nesse sistema estão em uma área central e, assim, existem variáveis configuracionais gerando um fluxo independente dos atratores, fato que não descarta a possibilidade de existir uma situação especial de atrator que supere totalmente o efeito da malha urbana, embora esse caso não tenha sido encontrado nesta pesquisa.

### 5.2.3.9. Atratores de serviço

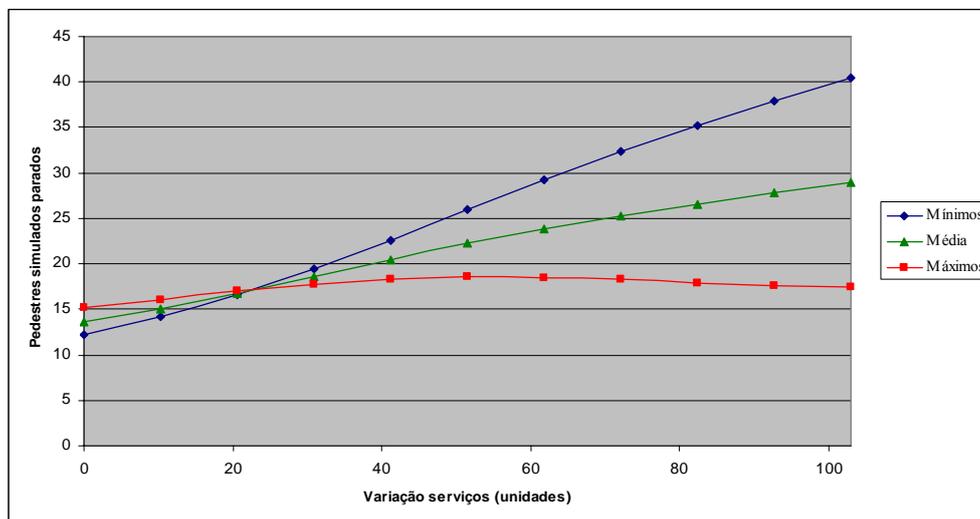
Para os pedestres em movimento, os ‘atratores de serviço’ só conseguem aumentar o número de pedestres quando o sistema fica com as variáveis baixas com um acréscimo de 24%. Nos sistemas máximos a variação do ‘serviço’ chegou a desestimular o fluxo de pedestres com uma queda pequena de um pouco mais de quatro pedestres.



**Gráfico 25 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da área dos atratores de serviços para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

No entanto, para os pedestres parados, a variação do número de

estabelecimentos conseguiu aumentar o fluxo de pedestres nos três tipos de sistemas, mas com proporções diferentes, partindo de 16,28% em sistemas mínimos e chegando a apenas 1,28 em sistemas máximos (Gráfico 26).



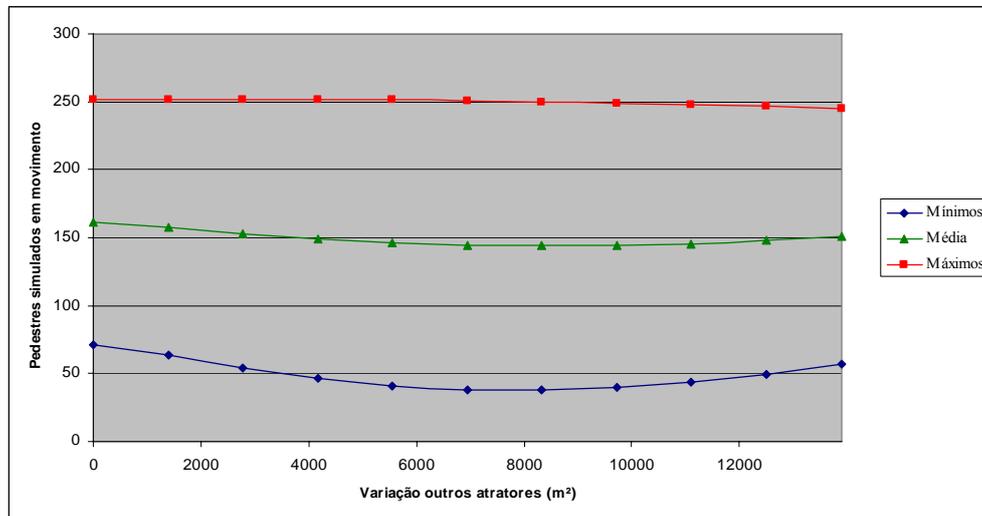
**Gráfico 26 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da área dos atratores de serviços para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Mesmo apresentando uma importância menor entre os atratores (Gráficos 4 e 5), o ‘atrator de serviços’ apresentou um aumento no fluxo de pedestres na maioria dos sistemas, indicando sua importância para o movimento peatonal.

#### 5.2.3.10. Outros atratores

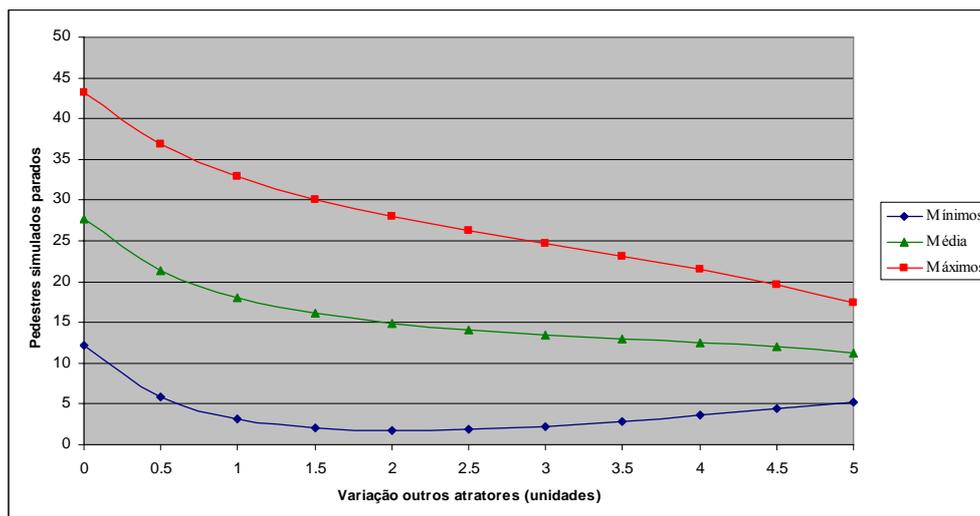
A análise de sensibilidade dos ‘outros atratores’ mostra que, embora eles tenham uma grande importância para o modelo através dos pesos das conexões, sua variação não muda, significativamente, o fluxo de pedestres na área estudada (Gráfico 27). Além de variar pouco o número de pedestres, de 5,40% no mínimo e 2,39% no máximo, sua variação ainda é negativa. Tanto com os valores mínimos, quanto para os máximos das variáveis, ele influencia

negativamente a movimentação de pedestres: -14,11 e -6,25 pedestres respectivamente, embora seja uma diferença pequena.



**Gráfico 27 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da área dos outros tipos atratores para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

No caso dos pedestres parados, o aumento do número de atratores diminuiu os pedestres parados também nas três situações, partindo de um pequeno decréscimo, de cerca de 4% quando o sistema está no mínimo até 14% quando está no máximo (Gráfico 28).



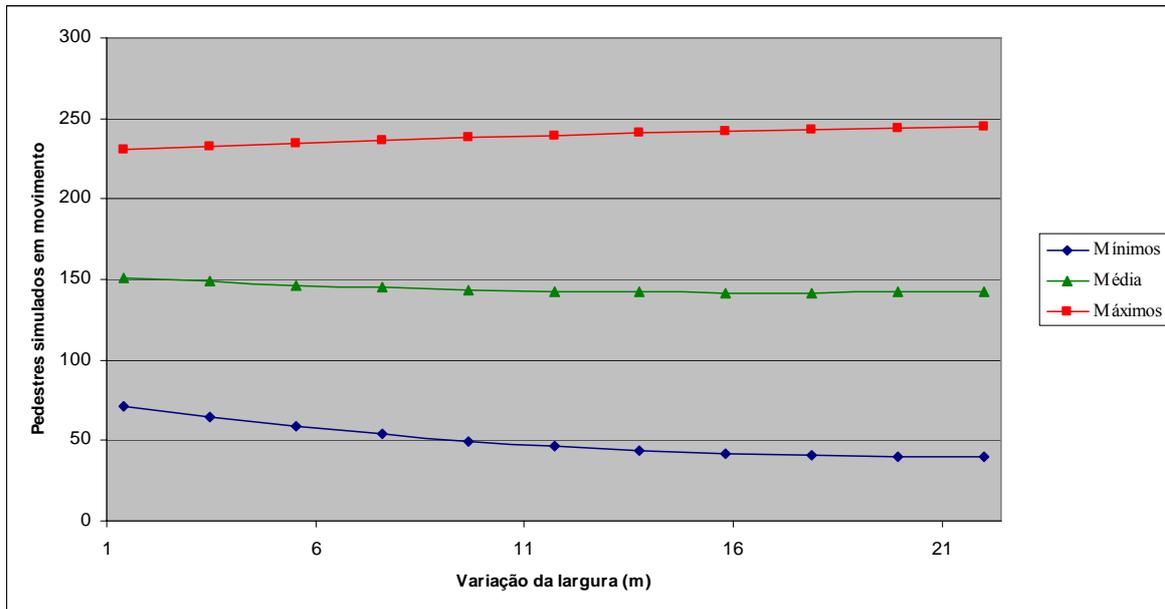
**Gráfico 28 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da área dos outros tipos atratores para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

O movimento de pedestres não responde às diferenças dos outros atratores, chegando até a restringir sua movimentação. Por isso, do ponto de vista do movimento de pedestres para essa área, esse tipo de atrator não constitui uma variável que modifique a dinâmica da movimentação.

#### 5.2.3.11. Largura do passeio

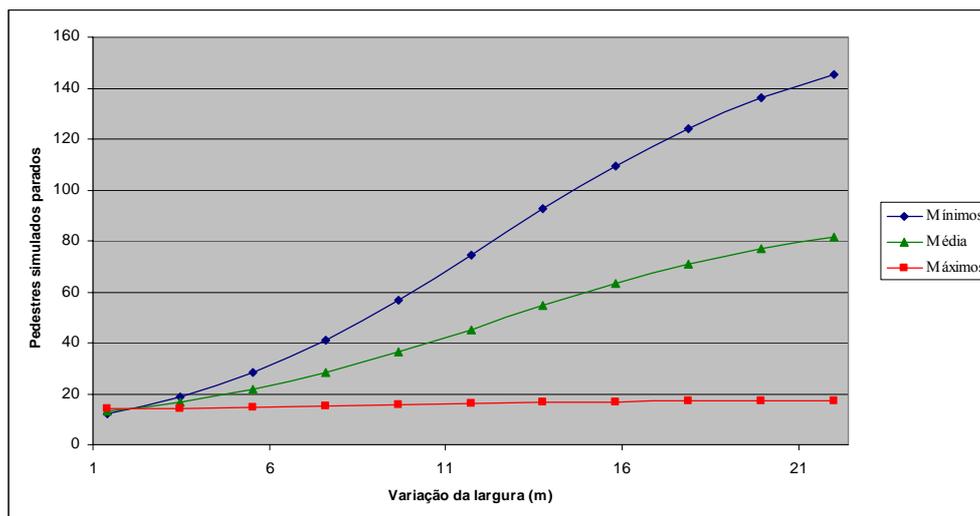
As medidas de desempenho avaliam propriedades quantitativas e qualitativas do passeio. A ‘largura’ é uma medida quantitativa da calçada com muita importância (Gráfico 5 e 6) para o modelo, isto é, para os pesos de suas conexões. No entanto, a alteração da ‘largura’ funciona de maneira diferenciada para o movimento de pedestres, dependendo das outras variáveis (Gráfico 29). No caso do modelo com todos os valores mínimos, o aumento da ‘largura’ só resulta em decréscimo para o fluxo de pedestres, cerca de 12%. Entretanto, se as outras variáveis estiverem com seus valores no máximo, o fluxo é incrementado em quase 6%. Com essa análise, fica claro que, quando o sistema possui valores baixos de variáveis sintáticas e de atratores, a ‘largura’ não aumenta o

movimento de pedestres.



**Gráfico 29 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da largura para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Usualmente, os modelos têm demonstrado que as dinâmicas dos movimentos são diferenciadas e necessitam de explicações distintas. A variação da ‘largura’ no modelo de pedestres parados alterou muito o fluxo de pedestres, cerca de 76,82%, chegando muito perto do ‘atrator comercial’ (Gráfico 30). Essa característica não se mantém para os outros estados do modelo, médio e máximo, e diminui a variação conforme aumentam os valores das outras variáveis.

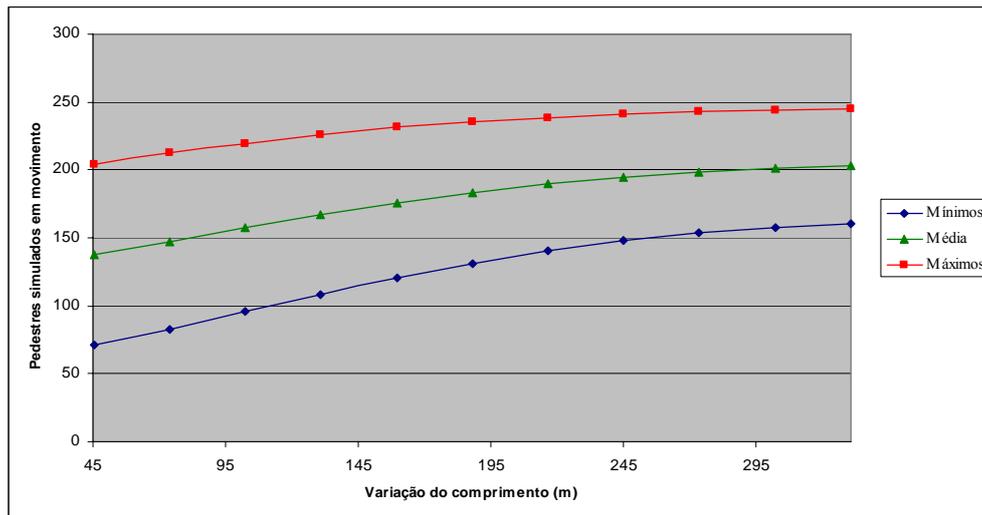


**Gráfico 30 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da largura para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Um espaço urbano necessita de diferenciações, até os usos do solo são “alimentados” por elas, de modo que áreas bem integradas localmente podem vir a atrair pedestres que desejam utilizar o espaço para interação social. A ‘largura’ do passeio pode ajudar na diferenciação criando condições para que as pessoas utilizem esses espaços.

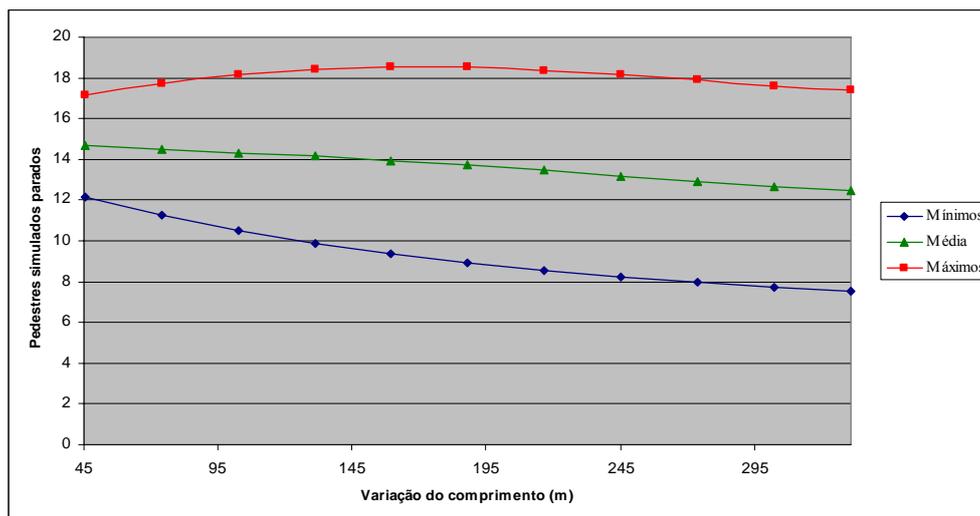
#### 5.2.3.12. Comprimento do passeio

Esta medida de desempenho quantitativa é associada à capacidade da via juntamente como a ‘largura’. Contudo, cabe salientar a lógica por trás da medida ‘comprimento’, pois, quanto maior a calçada, mais pedestres ela suportará. Essa relação é direta e aumenta praticamente da mesma maneira nos três tipos de sistemas (Gráfico 31).



**Gráfico 31 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação do comprimento para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Entretanto, na medida que aumenta o comprimento da calçada, diminui o fluxo em sistemas mínimos e médios (Gráfico 32), mesmo que muito pouco: 1,26% e 0,15%, respectivamente. Em sistemas com as variáveis em seus máximos, o gráfico 32 apresenta uma curva que atinge o máximo de aumento de pedestres, ou seja, 1,56, quando o valor do passeio fica em 159,6m , uma variação muito pequena.



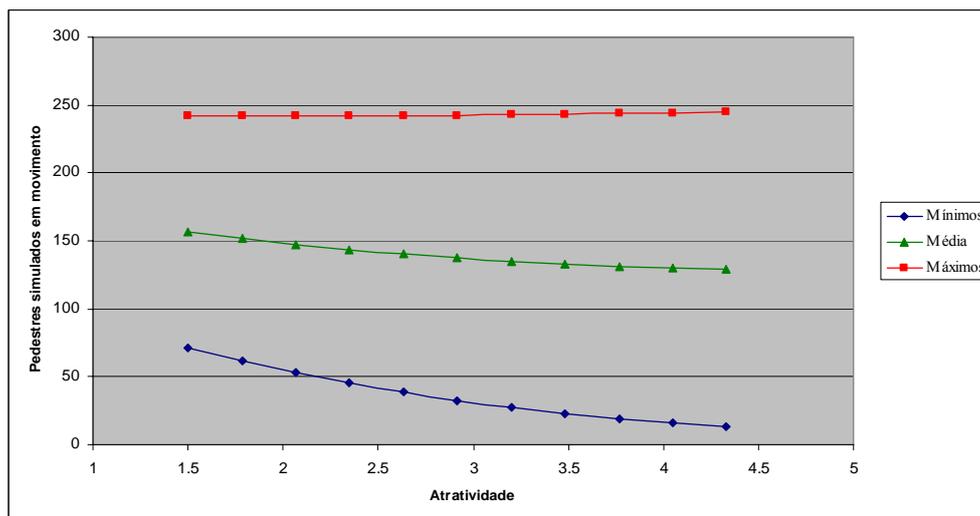
**Gráfico 32 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação do comprimento para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

O ‘comprimento’ não apresenta uma mudança expressiva no número de pedestres, mas é importante para o modelo conseguir diferenciar os passeios maiores dos menores e estabelecer as relações entre eles.

### 5.2.3.13. Atratividade

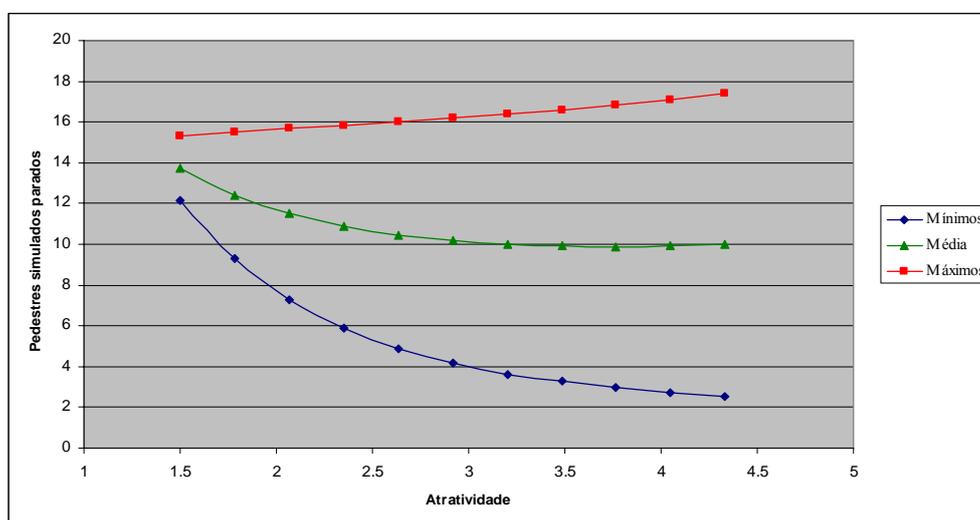
A medida ‘atratividade’ é uma medida de desempenho qualitativa do passeio, vinculada à sensação de prazer estético proporcionado pelo ambiente ao pedestre que utiliza o espaço. Desse modo, ela analisa a estética do passeio, do entorno e da adequação do passeio devido a alguma melhoria projetual, como a criação de espaços de lazer, etc.

No modelo de pedestres em movimento (Gráfico 33), a ‘atratividade’ obteve desempenho negativo em sistemas no mínimo com mais de 22% de redução e com o sistema no máximo, ela tenha sido capaz de acrescentar pouco ao movimento de pedestres (1,12%).



**Gráfico 33 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da nota da atratividade para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Para pedestres parados, o desempenho foi similar ao do movimento. Com o sistema no mínimo, a redução de pedestres foi de somente 5,55%, e com o sistema no máximo um acréscimo de 1,19%.



**Gráfico 34 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da nota da atratividade para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

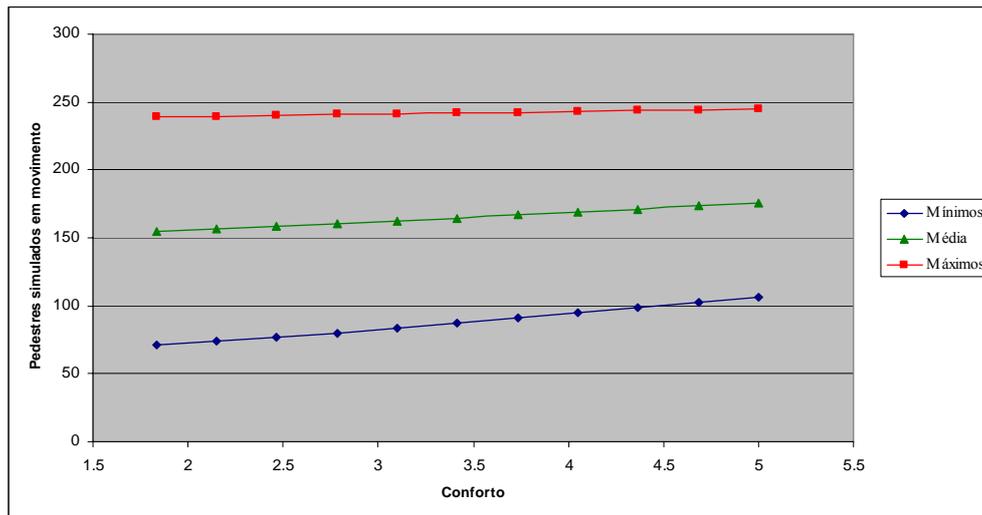
Ocorreram algumas surpresas nesse ponto do trabalho, pois, por mais

que essa MD obtivesse uma importância boa para os modelos de pedestres parados e em movimento (Gráfico 4 e 5), ela não representou nenhum incremento significativo para a variação dos fluxos de pedestres. Contudo, sabe-se que não adianta investir na qualificação de passeios urbanos quando não existe potencialidade nele, e dessa maneira, essa variável teve um desempenho de certa forma aceitável.

#### 5.2.3.14. Conforto

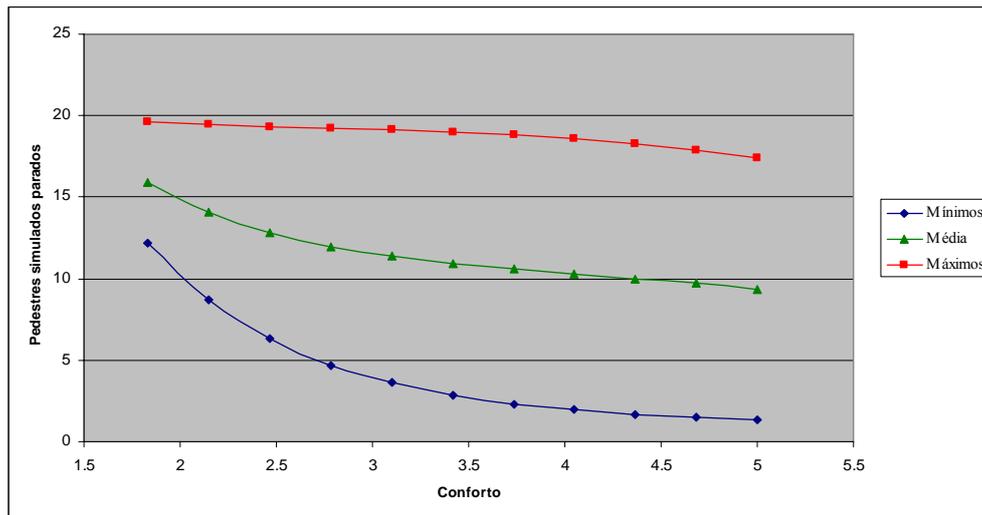
A medida de desempenho qualitativa ‘conforto’ mede o quanto o espaço é adequado para os pedestres, ou seja, com largura desobstruída para a passagem, sem desníveis abruptos e sem mobiliário urbano interferindo no passeio.

Essa medida foi qualificada com a menor importância adquirida pelo método de Garson (1994) (Gráfico 4) para o modelo de movimento. Em se tratando do número de pedestres em movimento, ela é sempre positiva, e no sistema mínimo, é capaz de aumentar o fluxo em quase 35 pedestres (Gráfico 35). Com o sistema no máximo este acréscimo cai para menos de seis pessoas.



**Gráfico 35 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da nota de conforto para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

O modelo de pedestres parados mostrou um decréscimo do fluxo na medida que o ‘conforto’ aumentou nos três tipos de sistemas. Entretanto, isso não quer dizer que quanto melhor o passeio, menos pedestres parados permaneceram na calçada. Pode resultar simplesmente em um decréscimo decorrido do fato de mais pedestres poderem se locomover na rua, ou seja, o que faz com que o pedestre permaneça parado é obter uma vantagem que vença a vontade de seguir seu caminho e continuar em movimento (Helbing, 1992).

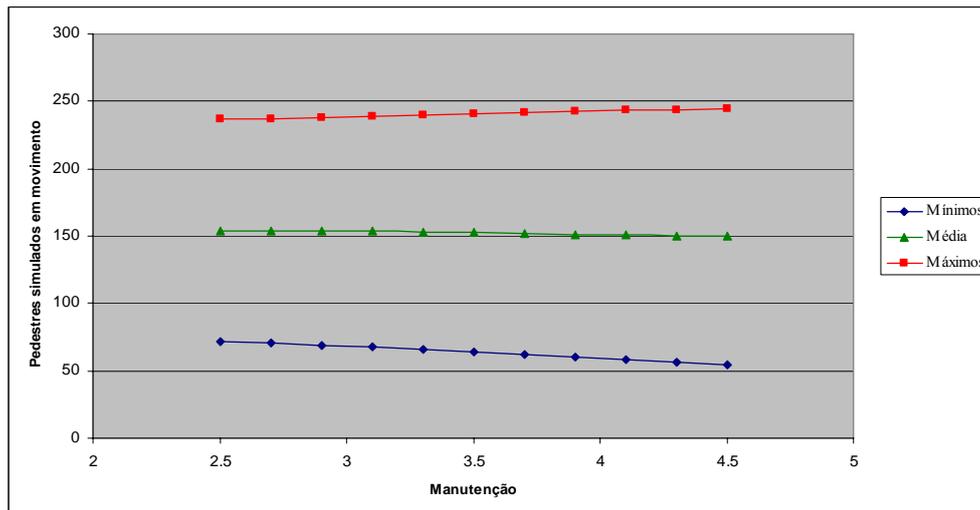


**Gráfico 36 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da nota de conforto para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

O ‘conforto’ do passeio traz vantagens específicas para os pedestres em movimento e, quanto maior o conforto, maior será a vantagem do pedestre de continuar caminhando. Mesmo que o valor de acréscimo do fluxo seja pequeno.

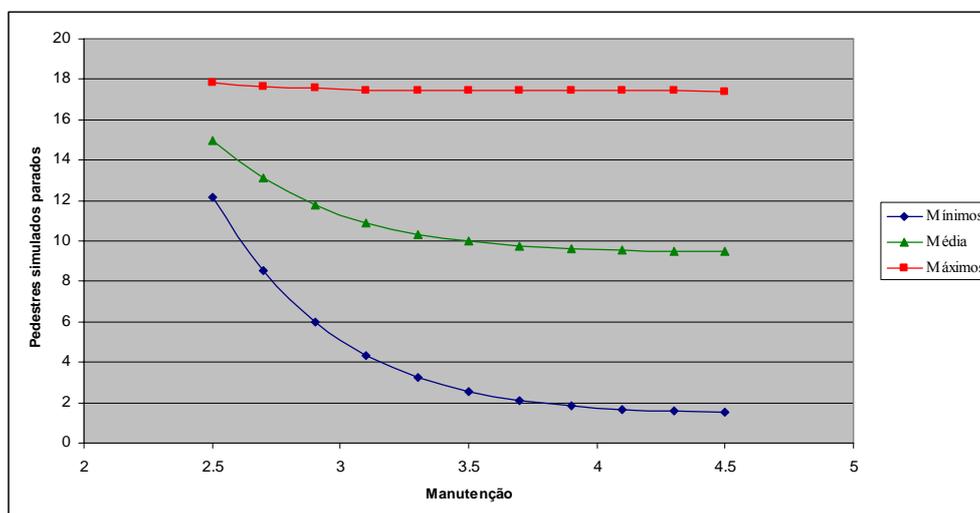
#### 5.2.3.15. Manutenção

A medida de desempenho ‘manutenção’ avalia as calçadas quanto à qualidade e adequação de seu pavimento e à limpeza da via. Essa medida cria no modelo de movimento um decréscimo quando o sistema está em seu valor mínimo, com 6,36%, e médio com 1,58%. No entanto, quando o modelo está com as variáveis no máximo ela cria um acréscimo de 3,18%.



**Gráfico 37 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da nota de manutenção para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Essa variável também tem um decréscimo nas três situações de sistema do modelo de pedestres parados, com variação negativa de 6,12% para mínimos, 3,18% para médios e 0,24% para máximos.



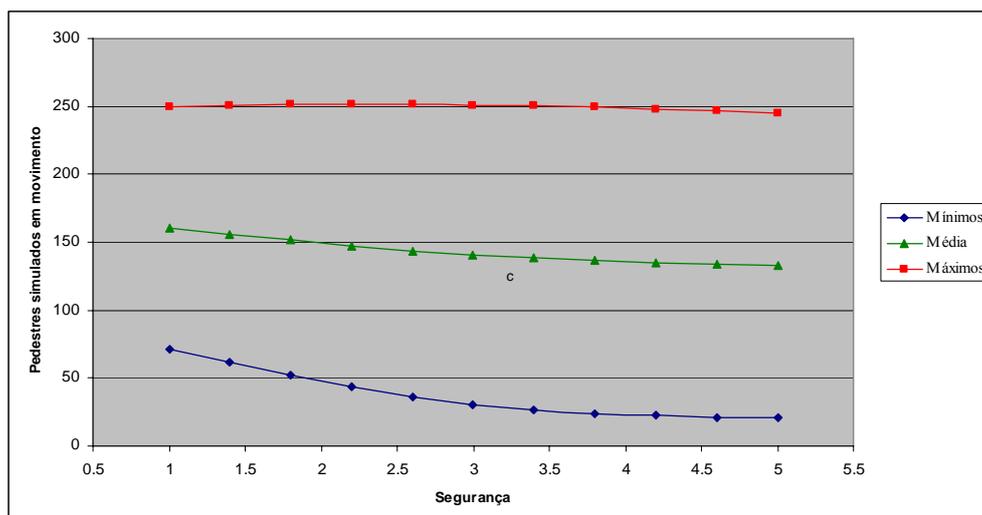
**Gráfico 38 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da nota de manutenção para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

O comportamento dessa variável foi totalmente inesperado, por se tratar

de uma característica muito importante do passeio. Um passeio com piso inadequado pode dificultar o andar do pedestre e, em casos mais extremos, causar acidentes. No entanto, essa característica não influencia diretamente o fluxo de pedestres, nem sua utilização em conjunto com outra variável de desempenho mostrou co-dependência. Dessa forma, um estudo mais aprofundado é necessário para entender as conseqüências desse resultado.

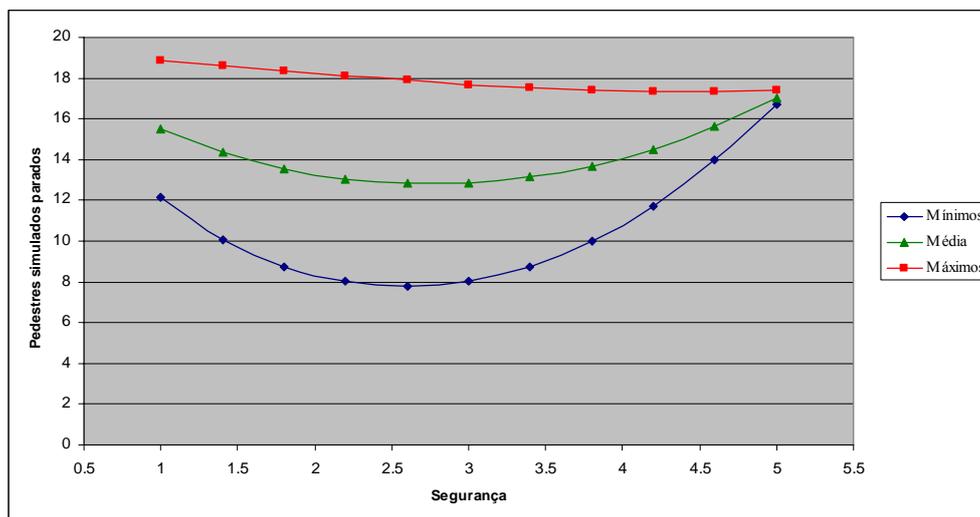
### 5.2.3.16. Segurança

A medida ‘segurança’ trata do pedestre e das possibilidades de conflito com outros modos de transporte. Embora com muita importância para o modelo (Gráfico 4), quando se avaliou a sensibilidade dessa variável, descobriu-se no modelo de pedestres em movimento uma diminuição do número de pedestres, conforme aumenta a nota da variável (Gráfico 39). No entanto, pesquisas que mediram a qualidade do passeio e a sensação de segurança do pedestre (Landis *et al.*, 2001) resultaram no oposto, ou seja, quanto mais seguro o passeio maior é a escolha do pedestre de caminhar nele.



**Gráfico 39 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da nota de segurança para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

A variação da nota de ‘segurança’ no modelo de pedestres parados foi igualmente desconexa. Com o aumento da ‘segurança’, o fluxo diminui em 4 pedestres e depois aumenta para 16 no sistema mínimo; no sistema com o máximo valor das variáveis, há um decréscimo de 0,86 pedestres.



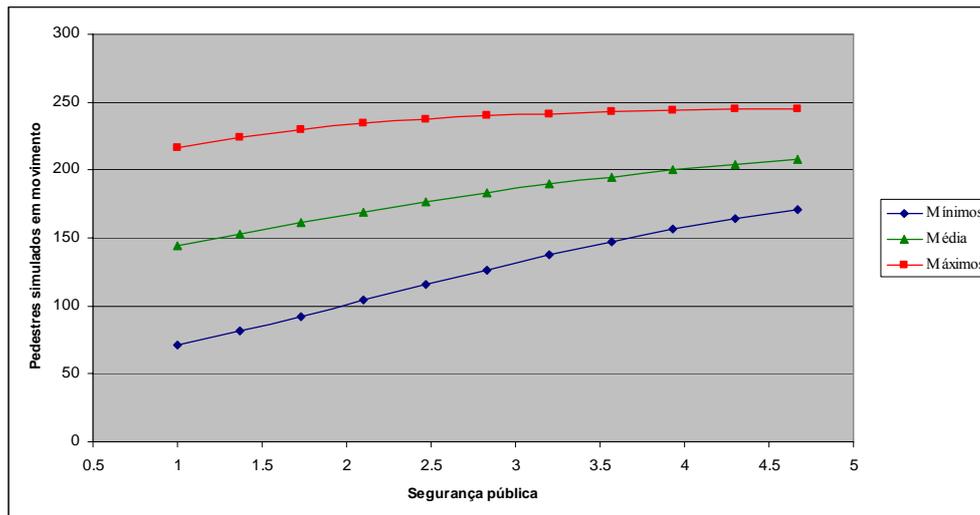
**Gráfico 40 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da nota de segurança para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Essa pesquisa foi desenvolvida diferentemente da pesquisa de Landis *et al.*, (2001), pois não foi questionado ao pedestre onde ele se sentia mais seguro para correlacionar com o fluxo. Pelo contrário, foram avaliadas as questões de segurança e depois relacionado com o fluxo. O que resultou foram gráficos que tentam explicar uma relação que talvez seja inexistente no local. Não se está afirmando aqui que o pedestre não busque as calçadas mais seguras para se locomover, e sim que essa relação não existe nesse caso, ou que, em se tratando de áreas centrais, não existem alternativas possibilitando a escolha.

#### 5.2.3.17. Segurança pública

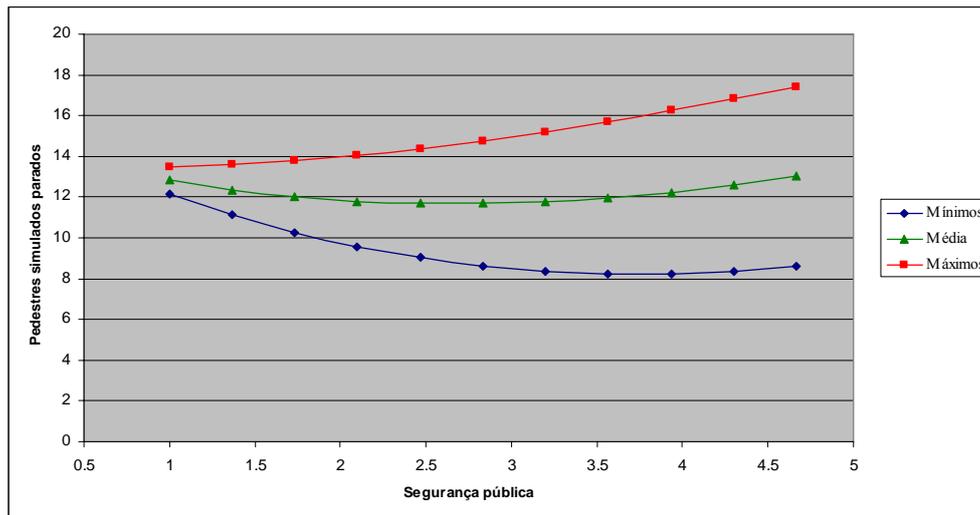
O policiamento, a co-presença e a visibilidade entre os diferentes pontos do passeio foram utilizados para criar a medida de desempenho

‘segurança pública’. No modelo de pedestres em movimento, essa medida aumentou o fluxo de pedestres nos três casos. O pedestre necessita de condições adequadas para se locomover, mesmo assim, em sistemas segregados, aumento de características de segurança pode ampliar a ‘segurança pública’ dos pedestres que se locomovem por ele.



**Gráfico 41 - Simulação do fluxo de pedestres em movimento conforme variação da nota de segurança pública para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Para o modelo de pedestres parados, ela determina que no máximo das outras variáveis há um acréscimo de fluxo. No entanto, quando as medidas do sistema são baixas, o fluxo também cai. Isso demonstra que não adianta somente a segurança pública para o pedestre parado se sentir seguro, o sistema como um todo deve criar condições de integração, criando desse modo o fluxo e, conseqüentemente, o controle da vizinhança.



**Gráfico 42 - Simulação do fluxo de pedestres parados conforme variação da nota de segurança pública para os valores mínimos, médios e máximos das outras variáveis do modelo. Fonte: original do autor.**

Hillier (1996) destaca em sua pesquisa que há correlação entre arrombamentos e a segregação do sistema. Desse modo, a medida sintática de integração pode ser relacionada com MD ‘segurança’, explicando parte de seu comportamento.

### 5.3. CARACTERÍSTICAS DO ESPAÇO URBANO E SUA RELAÇÃO COM O FLUXO DE PEDESTRES

É necessário entender algumas relações que ocorrem no espaço urbano e, em especial, na área de estudo. Algumas dúvidas permaneceram após as análises das variáveis e seu entendimento passa por avaliar as características do espaço urbano como um todo. Somente então, podem-se relacionar as variáveis entre si à procura de co-dependências, pois, do contrário, estariam apenas se avaliando duas variáveis em conjunto que não estão relacionadas intrinsecamente, porém possuem características que, se somadas, aumentam o fluxo de pedestres.

Para os modelos, sempre é necessário avaliar as repercussões teóricas

das análises e avaliações realizadas para validar os resultados obtidos, mesmo que de alguma forma isso questione a teoria utilizada. Na seqüência serão realizadas algumas análises importantes para determinar as relações entre algumas variáveis e o sistema urbano em questão, para depois avaliar as dúvidas que ainda restam com os modelos replicados em planilhas eletrônicas.

### 5.3.1. Controle e conectividade

A medida sintática de ‘controle’ é uma medida local que avalia as possibilidades de escolha que cada linha representa para as linhas conectadas diretamente a ela. Desse modo, suas propriedades são muito similares às da medida ‘conectividade’, e da mesma forma, seu desempenho e importância para os modelos.

Isso ocorre porque ambas as variáveis possuem grandes correlações entre si, cerca de 0,9165 nesta área e um  $R^2$  de 0,84. O ‘controle’ é uma medida local, sendo que só leva em conta a linha axial de análise e sua vizinhança imediata. Esta medida avalia como o espaço controla os espaços vizinhos, os espaços com maior ‘controle’ também possuem a maior ‘conectividade’ (Gráfico 43).

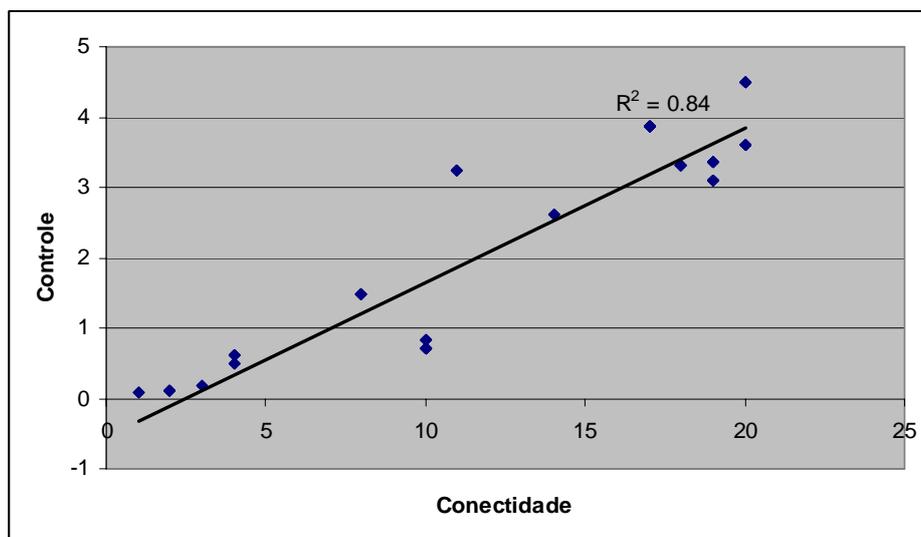


Gráfico 43 - Relação entre o controle e a conectividade na área. Fonte: original do autor.

Essas medidas funcionam de forma muito similar para esses modelos, o que já foi constatado também em outras pesquisas (Silva, 2004; Rigatti, 1997). Deste modo, fica claro como elas podem representar um desempenho tão semelhante em importância e na sensibilidade.

### 5.3.2. Inteligibilidade

Segundo Hillier *et al.* (1994), existe uma alta correlação entre a medida de integração e o fluxo de pedestres em uma série de áreas suburbanas. Foram encontrados casos em que a ‘integração’ parece não estar diretamente ligada ao movimento de pedestres, contudo sempre com altos níveis de significância estatística. A hipótese do autor foi que a baixa performance ocorreu devido à falta de uma medida de segunda ordem chamada de ‘inteligibilidade’.

A ‘inteligibilidade’ é uma medida sintática que define o grau de correlação entre medida global de ‘integração’ com a local de ‘conectividade’. Desse modo, o pedestre que se move pelas linhas mais conectadas e de maior integração é capaz de entender como funciona o sistema urbano.

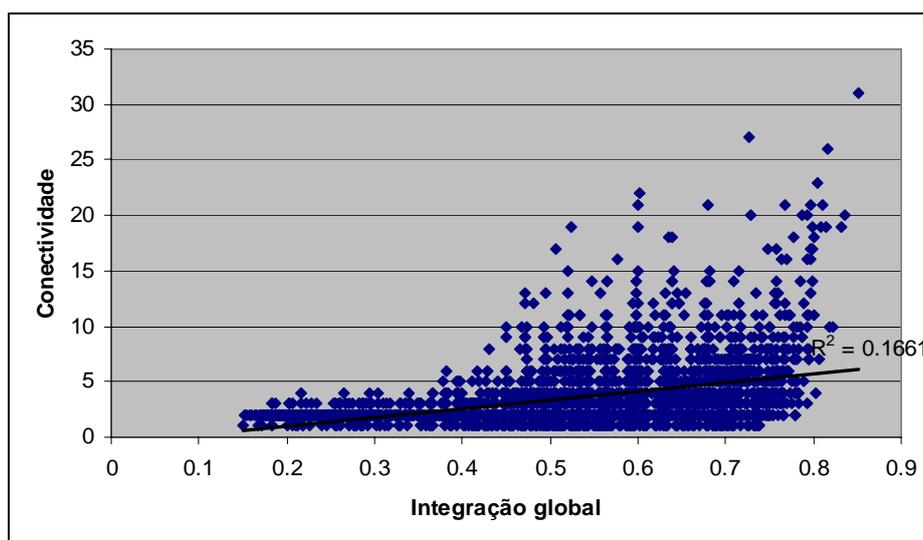


Gráfico 44 - Inteligibilidade do sistema urbano de Santa Maria-RS. Fonte: original do autor.

Assim, assentamentos urbanos que possuem uma ‘inteligibilidade’ alta apresentam maior correlação aparente entre o fluxo de pedestres e a medida de

‘integração’. Nessa pesquisa não existe correlação aparente entre o fluxo de pedestres e a ‘integração’ (Anexo C) e a análise sintática do assentamento apresentou valores muito baixos de ‘inteligibilidade’ da cidade de Santa Maria (Gráfico 44).

A partir disso pode-se entender a necessidade de um “outro modo” de buscar explicação para o movimento de pedestres nos padrões do assentamento.

### 5.3.3. Sinergia

Quando o pedestre consegue se locomover pela cidade e perceber bem ambas as escalas, local e global, denota que a cidade possui alta sinergia entre o movimento global e local. Grandes movimentos parecem priorizar rotas mais integradas, enquanto movimentos locais priorizam rotas também integradas, só que localmente. O gráfico de dispersão da cidade (Gráfico 45) mostra que a cidade possui baixa correlação entre a integração local e global. Desse modo, o movimento natural fica estruturalmente segregado. Essa condição, além de segregar o movimento, diminui a chance de encontro entre os diferentes movimentos e, conseqüentemente, sua predição.

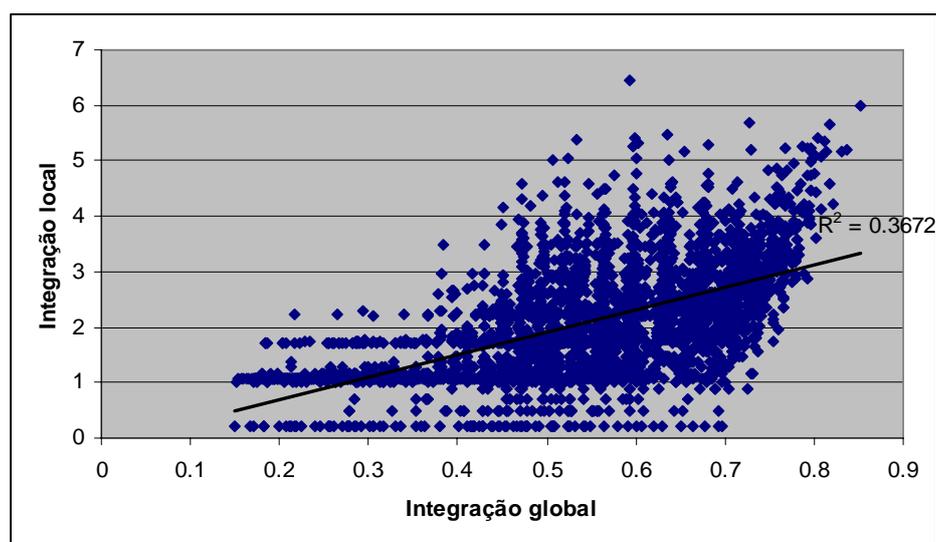


Gráfico 45 - Sinergia da cidade de Santa Maria, RS. Fonte: original do autor.

Um caso que chama a atenção é a diferença das medidas encontradas

para o modelo de movimento. Por mais que as medidas locais como ‘conectividade’ e ‘controle’ tenham obtido grande importância, sendo que juntas são responsáveis por quase 15%, a maior importância entre as medidas de integração é a da ‘integração global’. O fato de o espaço possuir grande importância associada às variáveis locais e, mesmo assim, possuir uma integração local mais baixa que a global não é contraditório. Significa, entre outras coisas, que o espaço sofre influências locais grandes mas que, devido a sua baixa sinergia, o movimento predominante é ocasionado por pedestres visitantes, originados de várias partes do sistema.

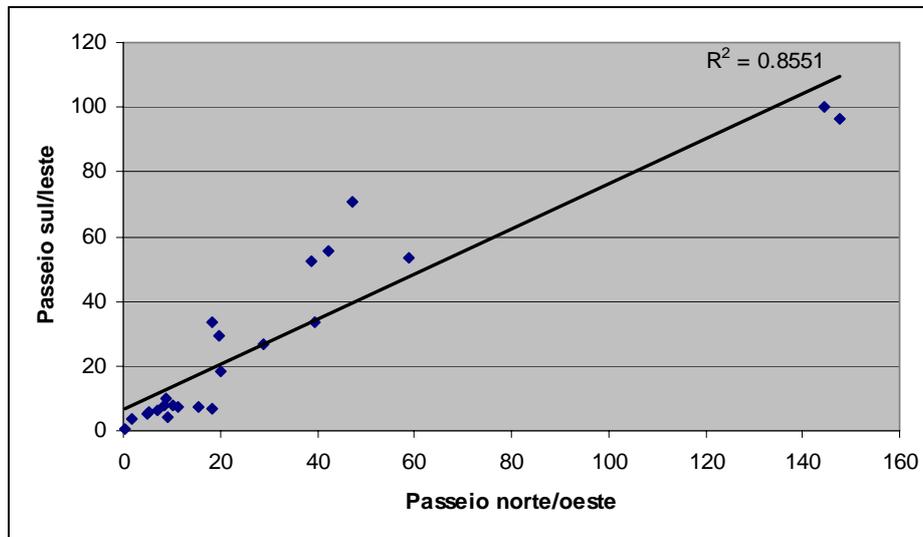
O mecanismo de geração de contato da cidade mostra uma debilidade de potencialização existente entre o movimento de pedestres mais localizados e os mais globais. Dessa maneira, o contato fica restrito e por isso acaba gerando uma diferenciação do movimento causado pela própria malha.

#### 5.3.4. Como a ordem local vence as indeterminações do espaço

A pergunta que permanece é como a ordem local consegue vencer a indeterminação global da área, ou seja, como a ordem local cria características que superam as determinações globais. Segundo Hillier (1996), isso ocorre gerado por três leis espaciais de diferenciação. A primeira é o alinhamento entre células, a segunda é o alinhamento das entradas e a terceira é o alinhamento paralelo, ou seja, bilateralidade na via. Essas leis de crescimento são utilizadas para reforçar as características locais entre si. Dessa maneira, os assentamentos urbanos criam modos de diferenciar suas partes e fazer com que as formas construídas sejam formadas, localizadas e orientadas pelas atividades humanas, mas de acordo com regras que controlam seus efeitos.

Na área de estudo (Gráfico 46), a determinação dessas regras influencia todo o ambiente construído e repercute na movimentação peatonal. Assim, o fluxo de pedestres deve mostrar correlações semelhantes, bem como coeficiente

de determinação entre si.



**Gráfico 46 - Correlação entre o fluxo de pedestres em passeios vizinhos, bilaterais a uma linha axial. Fonte: original do autor.**

A correlação simples entre os fluxos das calçadas opostas de uma mesma via ficou em 0,9247, e o coeficiente de determinação em 0,8551, o que indica que além de correlatos, os dados têm alto poder de explicação entre si. Desse modo, a partir dos padrões globais, a ordem local é estabelecida criando diferenciações equivalentes que são reforçadas pelas características do meio. Padrões de alinhamento são essenciais para a determinação de movimento.

#### 5.4. REPLICAÇÃO DO MODELO

Algumas dúvidas permaneceram em relação às variáveis e como elas são influenciadas. Nessa parte do trabalho será utilizada a replicação do modelo em planilha eletrônica, para criar cenários que busquem o entendimento maior das variáveis e como elas se influenciam mutuamente para intensificar o fluxo.

Para tanto, foi desenvolvida uma planilha eletrônica que possui os dois modelos de fluxo: pedestres em movimento e pedestres parados. Nos dados de entrada se encontram as 17 variáveis de entrada que fornecem as saídas do modelo. Para facilitar o uso e, conseqüentemente, a mudança do valor das

variáveis, elas foram normalizadas entre 0 a 100%. Desse modo, avalia-se a mudança sem a preocupação de estar extrapolando o limite lógico do modelo, pois a rede neural só entende as variáveis que estão contidas entre os valores mínimos e máximos. Mesmo assim, criou-se um operador lógico de “Se, então...” para inibir a ocorrência de algum engano quando os valores forem atribuídos às variáveis. No caso dessa ocorrência aparece a palavra “ERRO” encima da variável que está fora dos limites.

Essa replicação do modelo é simples, criada somente para teste e avaliação das dúvidas que permaneceram após a análise de importância e da avaliação da sensibilidade. Abaixo, a tabela 26 mostra a parte gráfica da replicação onde se colocam os dados e se estima a saída.

**Tabela 26 - Modelo replicado em planilha eletrônica para teste das variáveis. Fonte: original do autor.**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	<b>Modelo normalizado entre 0 e 100%</b>																		<b>Saída</b>			
2	Entre com um valor entre 0 (o mínimo do modelo) e 100 (máximo do modelo)																		<b>Mov</b>	<b>Par</b>		
3	RN	R3	Conec	Cont	Prof	Const	Res	Com	Ser	Out	Larg	Comp	Atrat	Conf	Manut	Segur	Seg. pub					
4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
5	Cenário 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			71.1794	12.1654
6																						
7	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
8	Cenário 2	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			71.4737	38.0239
9																						
10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
11	Cenário 3	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			151.209	33.1928
12																						
13	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
14	Cenário 4	0	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			11.3288	105.856
15																						
16	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
17	Cenário 5	0	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			60.6213	50.2573
18																						
19	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
20	Cenário 6	0	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			10.1029	1.46716
21																						
22	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
23	Cenário 7	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			71.4737	38.0239
24																						
25	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
26	Cenário 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			71.1794	12.1654
27																						
28	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
29	Cenário 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			71.1794	12.1654
30																						
31	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
32	Cenário 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			71.1794	12.1654
33																						
34	MIN	0.70831	1.56692	1	0.09091	1	0	0	0	0	0	1.4	45.4	1.5	1.83333	2.5	1	1			0.24	0.04
35	MAX	0.83139	5.24404	20	4.49026	5	134.5	21442.5	19128	8610.22	13889.8	22	330.9	4.33333	5	4.5	5	4.66667			261.8	173.6

Com o modelo pronto e o limite das variáveis determinado é possível avaliar mais de uma variável ao mesmo tempo e ver as co-dependências e outros tipos de análises necessárias para o melhor entendimento desse fenômeno.

### 5.4.1. Conectividade como potencializadora dos padrões da malha

Quando foi testada, a sensibilidade da variável ‘conectividade’ demonstrou que somente aumentava o fluxo de pedestres em movimento quando todo o sistema estava com seu valor máximo, de 187,97 para 244,86, uma variação de 56,88 pedestres. A questão que permaneceu foi qual a variável (ou variáveis) ajudou a aumentar tanto os pedestres? Desse modo foram criados cenários de teste com a variável ‘conectividade’ juntamente com as demais, para avaliar o incremento ou redução do fluxo, como mostra a tabela 27.

**Tabela 27 - Modelo estimando a co-dependência das medidas sintáticas para o fluxo de pedestres em movimento. Fonte: original do autor.**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Modelo normalizado entre 0 e 100%																		Saída		
2	Entre com um valor entre 0 (o mínimo do modelo) e 100 (máximo do modelo)																		Mov	Par	
3	RN	R3	Conec	Const	Prof	Const	Res	Com	Ser	Out	Larg	Comp	Atrat	Conf	Mant	Segur	Seg pub				
4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
5	Cenário 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6																					
7	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
8	Cenário 2	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9																					
10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
11	Cenário 3	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12																					
13	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
14	Cenário 4	0	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15																					
16	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
17	Cenário 5	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18																					
19	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
20	Cenário 6	0	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21																					
22	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
23	Cenário 7	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24																					
25	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
26	Cenário 8	0	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27																					
28	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
29	Cenário 9	0	0	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30																					
31	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
32	Cenário 10	100	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33																					
34	MIN	0.70831	1.56692	1	0.09091	1	0	0	0	0	0	1.4	45.4	1.5	1.83333	2.5	1	1		0.24	0.04
35	MAX	0.83139	5.24404	20	4.49026	5	134.5	21442.5	19128	8610.22	13889.8	22	330.9	4.33333	5	4.5	5	4.66667		261.8	173.6

O teste mostra que somente houve incremento no movimento quando combinadas duas medidas, a ‘integração global’ e a ‘conectividade’, e o acréscimo no número de pedestres criado foi de 80,02. O teste também determinou que todos os outros arranjos entre as variáveis sintáticas resultaram em decréscimo no número de pedestres. Em especial cita-se a ‘integração local’, que sozinha foi capaz de criar uma diminuição de 59,85 pedestres; da mesma forma, a ‘profundidade’ baixou em 61,07 pedestres. Em outra situação, mesmo

utilizando a ‘conectividade’ e a ‘integração global’ juntamente com a profundidade, houve um decréscimo de 60 pedestres. Nota-se também que sozinha, a ‘conectividade’ só aumentou o fluxo em 0,29 pedestres.

A ‘integração global’ é responsável por determinar o nível de profundidade de uma linha comparando-a com todo o sistema. Uma linha bem integrada, com integração no máximo nesse sistema, possui muitas conexões com as outras linhas e apresenta uma possibilidade maior de carregar o fluxo de pedestres. Uma linha bem conectada e bem integrada é capaz de criar uma movimentação de pedestres grande sem depender de outros atratores, como é o caso do comércio. A ‘conectividade’ utilizada em conjunto com a ‘integração local’ também foi responsável por aumentar o número de pedestres parados

A relação entre ‘integração’ e ‘conectividade’ define a inteligibilidade do sistema. Segundo Hillier (1993), quando a inteligibilidade é alta, o sistema apresenta uma correlação maior entre pedestres e integração por definir uma interface entre a lógica global e a local. Como a inteligibilidade da cidade de Santa Maria é muito baixa não existe uma correlação direta entre a integração (seja ela local ou global) com o fluxo de pedestres.

As redes neurais conseguiram captar essa relação e utilizaram essa dupla de variáveis para potencializar o fluxo, só que diferentemente para cada caso. O fluxo de pedestres em movimento foi obtido ao se associarem as medidas ‘conectividade’ com a ‘integração global’, e para pedestres parados foi utilizada a ‘conectividade’ com a ‘integração local’. Nesse estudo de caso, o fluxo de pedestres é explicado ao particionar a inteligibilidade para explicar a movimentação de pedestres. De uma maneira diferente, esse trabalho está admitindo que existem dois modos de inteligibilidade nesse sistema, a global e a local, e elas ajudam a explicar as diferentes dinâmicas dessa cidade.

Em um sistema como o de Santa Maria, que apresenta a sinergia baixa, define uma correlação onde as variáveis de integração local e global não se explicam mutuamente. Talvez por esse motivo, os fluxos tenham sido associados

de maneira diferente com as variáveis. O que apareceu foi a potencialidade da malha urbana de criar fluxo sem depender de atratores para ambos os casos. Embora os atratores potencializem muito o fluxo, eles não são os responsáveis exclusivos por eles nessa área. Desse modo, evidencia-se que a malha urbana é capaz de gerar fluxo, nesse caso, mesmo sem nenhum atrator para amplificar esse fluxo.

#### 5.4.2. Constituições, atratores e medidas sintáticas

Como já foi visto, as ‘constituições’ servem para ligar os espaços públicos e privados. O que se constatou no teste de sensibilidade é que, quando o modelo estava no mínimo, isto é, os atratores estavam com seus valores em zero e as outras variáveis com seus valores mínimos, a malha ainda potencializou os pedestres.

O problema aqui é que as constituições existem para ligar exclusivamente os atratores às calçadas. Por isso ainda existiram certos questionamentos que são: como as constituições podem potencializar o fluxo sem atratores? Ou seja, será que os atratores são tão intimamente ligados às constituições que o fato de existir constituição já é o suficiente para o modelo “entender” que existe um potencializador embutido? Desse modo foram criados dois modelos, onde se cruzou a variação entre as constituições e os atratores (Tabela 28), e, ainda, os atratores e as variáveis sintáticas (Tabela 29).

Tabela 28 - Variação entre constituição e atratores. Fonte: original do autor.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Modelo normalizado entre 0 e 100%																	Saída			
2	RN	R3	Conec	Cont	Prof	Const	Res	Com	Ser	Out	Larg	Comp	Atrat	Conf	Mamut	Segur	Seg. pub		Mov	Par	
3																					
4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
5	Cenário 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		71.1794	12.1654
6																					
7	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
8	Cenário 2	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		164.019	20.6426
9																					
10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
11	Cenário 3	0	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		255.993	153.944
12																					
13	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
14	Cenário 4	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		256.168	157.08
15																					
16	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
17	Cenário 5	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		260.351	172.094
18																					
19	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
20	Cenário 6	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0		134.003	40.4294
21																					
22	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
23	Cenário 7	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0		239.478	150.993
24																					
25	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
26	Cenário 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0		57.0656	5.17051
27																					
28	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
29	Cenário 9	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0		215.253	11.3791
30																					
31	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	ERRO			
32	Cenário 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150		193.509	11.287
33																					
34	MIN	0.70831	1.56692	1	0.09091	1	0	0	0	0	0	1.4	45.4	1.5	1.83333	2.5	1	1		0.24	0.04
35	MAX	0.83139	5.24404	20	4.49026	5	134.5	21442.5	19128	8610.22	13889.8	22	330.9	4.33333	5	4.5	5	4.66667		261.8	173.6

O modelo mostra que, mesmo com todas as variáveis no seu mínimo, ou seja, medidas sintáticas com valores baixos e constituições e atratores no zero, existe um fluxo de pedestres constante, e provavelmente esse fluxo seja originado diretamente pela malha, como referido anteriormente. No momento em que são colocados valores nos atratores (nesse modelo se usou o máximo), já houve um aumento no fluxo para todos os atratores, com exceção dos ‘outros atratores’, como já foi visto anteriormente.

No entanto, quando se usa em conjunto o valor das ‘constituições’ e dos atratores no máximo, resulta em aumento do fluxo para todos eles. Com o valor das ‘constituições’ e os ‘atratores residenciais’ no máximo (100%) o número de pedestres em movimento teve um acréscimo de quase 92 pedestres. Com os ‘atratores de serviço’ em 100% resultou em mais de 105 pedestres. Portanto, ambos os atratores dobraram o número de pedestres quando estavam associados a altos valores das constituições. Hillier (1996) comenta que a malha urbana potencializa de modos diferentes os atratores, fazendo com que eles se posicionem em lugares específicos para melhor aproveitar as vantagens locais. No momento que um atrator ‘residencial’ ou de ‘serviços’ aumenta o tamanho de sua interface com o passeio ele está, de certa forma, potencializando

os contatos e o movimento entre os pedestres.

Os ‘atratores comerciais’ parecem possuir uma força de atração tão grande que o tamanho de sua ligação não difere muito para o fluxo. Nesse caso, a ampliação de fluxo gerada pela variação do tamanho da interface foi menor que 1 pedestre, algo sem muita importância para o movimento peatonal. No entanto, os ‘outros atratores’ tiveram um desempenho totalmente diferenciado dos demais, pois ao cruzar seu valor com o das constituições no máximo (100%), resultou um aumento de 158 pedestres, ou seja, quase três vezes mais pedestres em movimento e, por outro lado, apenas 6 pedestres parados. Atratores “especiais” como esses precisam de grandes ligações com as calçadas no seu entorno para poderem potencializar sua atração, e por outro lado não são capazes de aumentar muito o número de pedestres parados de uma área.

**Tabela 29 - Variação entre constituições e medidas sintáticas. Fonte: original do autor.**

1	Modelo normalizado entre 0 e 100%																	Saída			
	RN	R3	Conec	Cont	Prof	Const	Res	Com	Ser	Out	Larg	Comp	Atrat	Conf	Mant	Segur	Seg. pub	Mov	Par		
2	Entre com um valor entre 0 (o mínimo do modelo) e 100 (máximo do modelo)																				
3																					
4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
5	Cenário 1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97.0315	14.185
6																					
7	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
8	Cenário 2	100	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	193.509	124.749
9																					
10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
11	Cenário 3	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10.6404	60.7652
12																					
13	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
14	Cenário 4	0	100	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	149.225	139.649
15																					
16	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
17	Cenário 5	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71.4737	38.0239
18																					
19	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
20	Cenário 6	0	0	100	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	229.386	152.258
21																					
22	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
23	Cenário 7	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	92.6063	24.9659
24																					
25	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
26	Cenário 8	0	0	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	245.88	138.336
27																					
28	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
29	Cenário 9	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.5426	0.56884
30																					
31	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK				
32	Cenário 10	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82.6433	5.3472
33																					
34	MIN	0.70831	1.56692	1	0.09091	1	0	0	0	0	1.4	45.4	1.5	1.83333	2.5	1	1	0.24	0.04		
35	MAX	0.83139	5.24404	20	4.49026	5	134.5	21442.5	19128	8610.22	13889.8	22	330.9	4.33333	5	4.5	5	4.66667	261.8	173.6	

No modelo utilizado para avaliar se as ‘constituições’ também potencializam a morfologia do espaço urbano, foi constatado que sempre existe aumento de pedestres, ou seja, que o fluxo de pedestres sempre é potencializado pelas constituições (Tabela 29). Ao relacionar as variáveis sintáticas em seu

máximo (100%) com as constituições também no máximo (100%) houve acréscimo tanto no número de pedestres parados quanto em movimento, em menor ou maior grau.

Na integração global houve um aumento do dobro do número de pedestres no movimento e, de quase 8 vezes, para o número de pedestres parados. Na integração local, o número de pedestres em movimento aumentou quase 14 vezes e mais do que dobrou nos parados. Estes resultados ocorreram em todas as variáveis sintáticas de modos diferentes, potencializando os efeitos da malha urbana. A rede neural quando “aprendeu” os modelos de pedestres parados e em movimento, assimilou a potencialização que ocorre a partir das constituições e seu papel para a atribuição de fluxo em centros urbanos.

#### 5.4.3. Medidas de desempenho e o fluxo

Como as medidas de desempenho não alteraram significativamente o fluxo, foi criado um modelo para avaliar se quando elas eram utilizadas em conjunto existia alguma variação do fluxo de pedestres. Para isso foram variados os valores das variáveis nos modelos aleatoriamente (Tabela 30), a fim de descobrir alguma relação entre elas e o fluxo.

**Tabela 30 - Modelo avaliando as relações entre o fluxo e as medidas sintáticas. Fonte: original do autor.**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	Modelo normalizado entre 0 e 100%													Entre com um valor entre 0 (o mínimo do modelo) e 100 (máximo do modelo)					Saída			
2	RN	R3	Conec	Cont	Prof	Const	Res	Com	Sex	Out	Larg	Comp	Atrat	Conf	Manut	Segur	Seg. pub			Mov	Par	
3																						
4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
5	Cenário 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71.1794	12.1654	
6																						
7	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
8	Cenário 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	84.2857	12.8788	
9																						
10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
11	Cenário 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	0	30.9846	0.80554	
12																						
13	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
14	Cenário 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	63.803	1.44647	
15																						
16	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
17	Cenário 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	0	34.1352	12.8322	
18																						
19	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
20	Cenário 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	37.2956	18.8388	
21																						
22	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
23	Cenário 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	100	88.8377	2.90137	
24																						
25	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
26	Cenário 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	0	7.3402	10.6105	
27																						
28	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
29	Cenário 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	0	100	0	9.8324	6.54536	
30																						
31	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			
32	Cenário 10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	0	100	98.4306	3.4154	
33																						
34	MIN	0.70831	1.56692	1	0.09091	1	0	0	0	0	0	1.4	45.4	1.5	1.83333	2.5	1	1		0.24	0.04	
35	MAX	0.83139	5.24404	20	4.49026	5	134.5	21442.5	191.28	8610.22	13889.8	22	330.9	4.33333	5	4.5	5	4.66667		261.8	173.6	

Ao utilizar os valores máximos das MDs em conjunto, houve pouca variação entre o fluxo de pedestres. Na maioria das vezes, essa variação apenas diminui o fluxo. Desse modo, as relações entre elas não apresentam co-dependência para aumentar o fluxo e somente geram decréscimo no número de pedestres parados e em movimento.

## 6. CONCLUSÃO

### 6.1. CONCLUSÕES

A revisão da literatura foi muito útil para entender que existem diversas maneiras de representar e explicar a movimentação peatonal dos centros urbanos. Igualmente, existem teorias distintas para explicar como a sociedade, ao criar os padrões do espaço, restringe a movimentação em determinadas partes da malha urbana e potencializa em outras. Os modelos utilizam essas teorias como aporte lógico para determinar as contribuições e criar uma representação simplificada do fenômeno. Para criar o modelo foram escolhidas duas delas pelas suas características distintas em entender o passeio e sua relação com o fluxo.

A sintaxe espacial foi escolhida por utilizar o espaço urbano como um todo e relativizá-lo com o fluxo de pedestres. Com isso, cria graus de diferenciação dos passeios através de sua integração, profundidade, conectividade, etc. Esta análise é importante, pois mostra os padrões criados pela sociedade que faz o espaço. Devido à grande quantidade de trabalhos nesta área, e de um possuir um aporte teórico bem definido, a metodologia para obtenção das variáveis sintáticas foi facilmente implementada. Os mapas sintáticos da área já estavam prontos (Salomoni, 2006). Adquirir os valores dos atratores foi trabalhoso, porém, devido à organização da secretaria da fazenda de Santa Maria, estavam devidamente catalogados. O restante das medidas foi coletado *in loco*. Como um todo, a parte sintática da pesquisa não precisou de ajustes, o que foi feito apenas para atratores e para constituições. Essas medidas foram testadas para saber quais delas apresentariam melhores resultados no modelo, sendo processadas com as redes neurais para avaliação. Os resultados foram bons em todos os casos, a escolha de como utilizar as variáveis foi devido a pequenas melhorias estatísticas.

As medidas de desempenho serviram para avaliar as características

físicas do passeio, de modo que possam ser relacionadas de algum modo com o fluxo. Embora sua metodologia apresente um embasamento bem fundamentado, foi necessário criar algumas variações por dois motivos: para melhor aplicação na área e devido a uma metodologia de ponderação que não apresentava lógica matemática e, assim, prejudicaria o processamento com as RNAs.

A mudança no questionário de avaliação das MDs foi concebida para facilitar o trabalho do avaliador e evitar redundâncias nas análises. Na ficha de qualificação usual do método, o avaliador do passeio considerava três atributos ao mesmo tempo, condição que muitas vezes era ambígua para análise. Ao alterar o questionário, o avaliador qualificava um atributo de cada vez, evitando escolher qual das medidas ele achava mais importante no momento da avaliação. Não se está afirmando que o questionário modificado é melhor do que o usual, somente que para a qualificação da área ele apresentou melhoria no tempo de aplicação e acabou com as dúvidas do avaliador, o que implicou uma melhora significativa. O benefício obtido por essa mudança na metodologia deve ser melhor avaliado futuramente para identificar se durante o processo não foi deixado de lado alguma característica importante. Contudo, foram comparados ambos os resultados das fichas e processados com o fluxo do passeio através das RNAs, o que não serve para validar ou não o método, mas para provar que sua utilização está fundamentada.

A revisão da ponderação das medidas de desempenho, pelo método da AHP, serviu para deixar aparente o quanto esse método, embora correto, pode ser incoerente. Na avaliação dos pedestres, as medidas de desempenho podem representar apenas uma quantidade de atributos colocados em conjunto, e a avaliação para determinar seu peso permite incongruências. Por exemplo, se  $A < B < C$ , logicamente “A” não pode ser maior que “C”, e da mesma maneira que essa assertiva é ilógica, a metodologia utilizada para ponderar as variáveis de desempenho permite esse mesmo tipo de paradoxo lógico. Essa situação remete ao questionamento sobre a validade de se aplicar a indagação que permite esse

tipo de incongruência e, em consequência disso, criar todo um sistema de ponderação das variáveis qualitativas de uma área. Por esse motivo, preferiu-se aplicar somente os valores das medidas de desempenho, deixando que a rede neural descobrisse os pesos delas.

Com as variáveis coletadas foram criados os modelos para definir as relações entre elas e o movimento de pedestres. Todas as variáveis e relações são vinculadas especificamente à área da pesquisa e sua utilização depende dela. O modelo conseguiu um bom desempenho no processamento das redes e também na replicação do modelo em uma planilha eletrônica, com alto coeficiente de correlação e erros baixos. Dessa maneira, ficou comprovado que as redes neurais artificiais conseguiram reproduzir de maneira satisfatória o fluxo de pedestres e “aprender” as relações das variáveis entre si e com o fenômeno.

A reprodução do modelo em planilha eletrônica possibilitou criar testes para avaliar a importância e o desempenho das variáveis em relação ao fluxo. Foi constatado que mesmo quando as variáveis apresentam importância maior (Garson, 1994), obtida através do peso de suas conexões, isso não resulta necessariamente que a variação apresente acréscimo no fluxo de pedestres. A replicação da RNA em uma planilha eletrônica também propiciou a criação de cenários de testes quando necessário.

Na avaliação das medidas sintáticas através do modelo descobriu-se que todas são vinculadas de alguma maneira. Quando comparadas entre si podem aumentar ou restringir o fluxo conforme a variável. Esse tipo de relação já era esperado pois não se pode criar, por exemplo, um malha urbana hipotética que possua somente controle, ou integração global; sempre existirão as outras variáveis, mesmo que em seus valores mínimos, como foi o caso das comparações desse modelo.

Na literatura de sintaxe foram encontrados vários exemplos de correlação entre o movimento de pedestres e a medida de integração. (Hillier *et al.*, 1993; Hillier e Hanson, 1984; Hillier, 1996; Penn *et al.*, 1998; Jiang *et al.*,

2000). No entanto, essa correlação é dependente de uma medida de segunda ordem chamada inteligibilidade, que é a relação entre a integração, uma medida global, e a conectividade, uma medida local. Em sistemas em que os valores das linhas axiais possuem um coeficiente de determinação alto, a integração aumenta linearmente conforme aumenta a conectividade, em uma relação direta. No entanto, quando essa relação é fraca, o movimento não pode ser explicado linearmente.

Neste estudo de caso, a inteligibilidade teve um valor muito baixo (0,16), ou seja, a integração e a conectividade não possuem boa correlação. Como era esperado, a variação da integração global não resultou em um aumento significativo do número de pedestres para o modelo de movimento. Porém, quando foi avaliado o valor resultante do fluxo de pedestres utilizando os valores máximos da medida de integração global, juntamente com a conectividade, o número de pedestres aumentou significativamente. O mesmo se confirmou para o número de pedestres parados, só que a relação se deu entre a integração local e a conectividade.

Esse resultado demonstrou que o fluxo de pedestres em movimento teve forte correlação entre a integração global e a conectividade utilizadas em conjunto: desse modo, com a inteligibilidade alta, essa relação poderia ser alcançada utilizando apenas uma variável, no caso a integração global. Igualmente o fluxo de pedestres parados obteve uma correlação forte entre a integração local e a conectividade, o que seria uma espécie de “inteligibilidade local”. Confirmaram-se dois tipos de lógica entre o movimento e a malha urbana, a dos pedestres em movimento, influenciados por medidas globais, e a dos pedestres parados, influenciados por características locais.

Enquanto a integração local determina a área de abrangência da vizinhança, a integração global definiu a do estranho. O que se encontrou na área foi uma determinação local criada para pedestres parados e uma definição global para pedestres em movimento. Uma explicação possível se baseia em outra

medida de segunda ordem, que é a sinergia, ou seja, a relação entre a integração global e local, que é muito baixa para na cidade de Santa Maria-RS, com um coeficiente de determinação de 0,3. Se a sinergia do assentamento fosse maior, talvez os fluxos fossem explicados igualmente pelas características globais e locais, ou somente por uma delas. O que se pode afirmar dessa área de estudos é que os movimentos são globais, pois os visitantes deslocam-se para fazer compras, passear, etc.

Nesta pesquisa também se evidenciou a força de amplificação das características da malha urbana pelos atratores. Os atratores residenciais aumentaram o fluxo de pedestres em sistemas mais segregados, e no caso dos pedestres parados, ele chega a diminuir o número de pedestres quando o sistema está no máximo, ou seja, bem integrado. No entanto, os atratores especiais, como igrejas, teatros entre outros, por mais que gerem fluxo de pedestres não são capazes de aumentar o número de pedestres parados. Isso demonstra que em áreas de revitalização é necessário que além de teatros e centros culturais, existam vários tipos de usos do solo, como comércio, residências e prestação de serviços, pois do contrário, não haverá co-presença e um grande número de pessoas desfrutando do espaço. Por outro lado, os atratores comerciais foram capazes de aumentar os fluxos de pedestres em todas as situações de sistemas, tanto para pedestres em movimento, quanto para parados.

O que resulta dessas observações é que o modelo é capaz de prever fluxo de pedestres sem atratores, apenas com as características da malha. No entanto, ele não pode prever o fluxo, somente pela a influência dos atratores, pois eles sempre estão localizados em algum lugar da malha urbana e, quanto maior o número de atratores (em área ou unidades), melhor localizados estão de acordo com a integração e conectividade. Confirmou-se que nesta área o movimento natural existe, ou seja, que o movimento de pedestres originado somente pela malha é previsto pelo modelo.

As constituições são importantes por ligarem os atratores aos passeios.

Nesta pesquisa descobriu-se que, ao utilizá-las no modelo, elas potencializam muito o efeito multiplicador dos atratores, aumentando o número de pedestres parados e em movimento. Essa relação se deu com todos os tipos de atratores, menos com os comerciais, que não precisam de grandes aberturas, como é visto em grandes lojas comerciais que possuem poucos vínculos limitando sua permeabilidade com o entorno. No entanto, as constituições também potencializaram as medidas sintáticas, aumentando o fluxo em todas elas. Assim, percebe-se que a potencialização gerada pelas constituições afeta tanto os atratores como as medidas sintáticas. Desse modo, quando se restringe o acesso aos atratores não se está restringindo somente o efeito desse atrator de amplificar o fluxo, e sim o efeito da malha de potencializar encontros.

Da análise das medidas de desempenho, houve pouca reprodutividade no fluxo de pedestres, fato que lançou questionamentos sobre sua utilização. Elas não representaram aumento de fluxo, no entanto demonstraram algumas relações interessantes com o fenômeno. A medida comprimento apresentou pouca relação com o fluxo de pedestres e a menor importância no modelo de pedestres e em movimento. Pode-se inferir que o movimento de pedestres não está associado ao comprimento da calçada, mesmo que não se possa afirmar que essa relação não existe em outra escala de análise.

Foi constatado que a largura ajuda a aumentar o número de pedestres parados e, de certa maneira, cria encontros e qualifica o uso do solo. A atratividade, no entanto, só diminuiu o fluxo de pedestres. Não se está tentando argumentar que melhorias estéticas no ambiente e no entorno vão, de alguma maneira, desestimular o fluxo de pedestres. Contudo, elas só irão incrementar o fluxo quando utilizados outros fatores em conjunto, como, por exemplo, o caso de um local bem integrado e conectado. O conforto criou (poucas) vantagens para os pedestres em movimentação, desestimulando os pedestres parados. A medida de manutenção apresentou uma potencialização negativa para o fluxo de pedestres, resultando em uma destas três possibilidades: a variável não está

relacionada com o fluxo e, numa pesquisa futura, deve ser retirada do modelo; ela é co-dependente de outra variável que não está sendo utilizada nesta pesquisa; ou ainda, ela foi desenvolvida utilizando atributos inadequados, que devem ser revisados.

A segurança, embora com muita importância para os modelos, não conseguiu explicar claramente o fluxo de pedestres. Acredita-se que não tenha relação com essa área por ser muito central, com a velocidade dos veículos baixa e sem muitos perigos para os pedestres. De todo modo, ainda não foi sustentado que o pedestre ande pelas calçadas mais seguras em detrimento das menos seguras. O que foi evidenciado é que as questões de segurança são importantes para o pedestre e devem ser ampliadas para os níveis de serviço mais altos, de acordo com a quantidade de fluxo da calçada ou seu papel de destaque na cidade. A segurança pública obteve um resultado satisfatório no modelo, no entanto, supõe-se que esteja contida dentro dos efeitos da configuração, pois o fluxo de pedestres aumenta quando as medidas do sistema são máximas e varia a medida de segurança pública. Do mesmo modo, Hillier (1988; 1997) achou correlação entre furtos e a segregação espacial.

## 6.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em muitas cidades os caminhos dos pedestres são obstruídos em favor do trânsito veicular, criando-se rotas sinuosas e obrigatórias. Essa condição é contraditória às características do pedestre, que circula sempre de maneira a despender o menor esforço possível. Se a área não oferecer vantagens não haverá fluxo. Com a diminuição da co-presença nas cidades é inevitável que a área se torne cada vez mais desabitada, pois sem o fluxo muitas atividades comerciais que são dependentes transferem-se para outros locais. As características configuracionais são imprescindíveis para o deslocamento de pedestres, mas, sem a potencialização criada pelos atratores e constituições, os fluxos diminuem.

Qualificar uma área pode não ter relação direta com o fluxo de pedestres, mas é muito necessário para criar condições de uso. Avaliações de passeios como a ‘C’ e ‘D’ são consideradas aceitáveis para a maioria das calçadas da cidade. Níveis como ‘E’ e ‘F’ são graus de desempenho inaceitáveis. Já as avaliações como A e B indicam um nível de performance muito acima da média (Dixon, 1996), e são esperadas para lugares especiais, como escolas, faculdades, centros de compras centros turísticos etc. Nem todas as ruas da cidade poderão possuir níveis ‘A’ e ‘B’, pois o custo necessário para atingir este tipo de desempenho é muito elevado e deve ser reservado para áreas com alta concentração de deslocamento.

Para os pedestres parados, em sistemas segregados, não basta somente melhorar as condições de segurança pública para criar a sensação de segurança no pedestre, são necessárias características morfológicas como a integração local. Já para os pedestres em movimento, melhorar as medidas de desempenho segurança pública pode fazer efeito para o fluxo, pois eles escolhem as rotas por onde se locomovem. Locais de compras, onde o lojista necessita de pedestre parados, olhando as vitrinas, devem ter passeio qualificados e projetados com tratamento visual do espaço e do entorno. Da mesma forma, algumas implementações, como a qualidade do piso, devem ocorrer em todos os passeios pela segurança do pedestre e, ainda, por ser essencial para o deslocamento dos pedestres e incentivar as viagens a pé. As medidas de desempenho podem agir como qualificadores do espaço e dessa maneira criar uma interface amigável entre as propriedades do espaço (sintáticas) e os pedestres.

Ao avaliar o desempenho dos modelos como um todo, percebeu-se que as redes neurais artificiais não foram capazes de aprender 100% do fenômeno, talvez porque foram escolhidas apenas algumas (17) variáveis, ou ainda, o fenômeno da movimentação peatonal é extremamente complexo, com certas características que talvez nunca possam ser totalmente compreendidas. Através das leis espaciais da diferenciação, o espaço local cria diferenciações que criam

dinâmicas próprias do espaço, ampliando seus fatores na criação dos padrões locais. No entanto, um coeficiente de correlação acima de 90% já é considerado como estatisticamente forte. Não se pode afirmar que os resultados dessa área são generalizáveis para todas as cidades de malha tradicional. No entanto, não se pode descartar os achados que foram feitos nesta pesquisa, que serve para ajudar na discussão do assunto, apresentando uma maneira diferente de entender o fenômeno. Desse modo, a pesquisa teve implicações que de certa maneira, comprovaram as teorias utilizadas e contribuíram de alguma forma para o entendimento do fenômeno.

Ao comprovar a alta correlação entre as variáveis pesquisadas, pode-se afirmar que a metodologia utilizada nesta pesquisa venha a servir para realidades semelhantes. Planejando e construindo a cidade, modificamos as relações interpessoais entre os moradores e visitantes, alterando a dinâmica configuracional implícita nela. A predição do fluxo de pedestres ajuda no planejamento urbano por antever como as mudanças ocorridas no uso do solo e, também, na configuração urbana alteram a cidade. Em microescala, podemos afirmar que as calçadas com maiores problemas podem ser beneficiadas de acordo com as melhorias que isso possa trazer para a área como um todo.

### 6.3. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Estudar a movimentação de pedestres nas cidades é uma necessidade do planejamento, assim, é relevante sugerir investigações relacionadas com o tema, que ficaram explícitas no decorrer deste trabalho:

- Os modelos demonstraram que possuem dinâmicas diferenciadas entre o movimento de pedestres e os pedestres parados, e por isso, necessitam de explicações distintas. É necessário avaliar essa relação em outras áreas de estudo para averiguação dos dados obtidos.

- Novaes (1982), traz uma questão pertinente a modelos urbanos, que eles devem se adaptar às novas realidades para servir como previsão do sistema. No caso deste modelo, seria interessante que ele fosse avaliado novamente no futuro, para ver se as importâncias atribuídas às variáveis se alteraram ou se mantiveram iguais, isso determinaria se o modelo é aberto ou fechado.
- Com mais pesquisa nesta área, é possível prever a necessidade da largura específica para em calçadas de áreas em desenvolvimento pelo fluxo previsto para cada uma delas, ou ainda, utilizar esse método para avaliar as revitalizações de áreas históricas da cidade.
- Praticamente todas as medidas de desempenho, principalmente a medida ‘manutenção’ deve ser revista para avaliar seu poder explicativo.
- Entender se a rede neural artificial aprendeu que existe relação implícita entre os atratores e as constituições, ou se existiu algum ruído de dados que causou o desempenho apresentado, onde as constituições potencializam também as medidas sintáticas para gerar mais fluxo.
- Aplicando esta metodologia a outras cidades pode-se avaliar se os achados realizados aqui podem ser generalizados ou não. Contudo, a experiência já foi válida por criar um sistema de representação para o fenômeno da movimentação peatonal a partir da configuração. É muito satisfatório para um urbanista evidenciar, mesmo que somente neste caso, que a sociedade constrói o espaço e a partir das pressões entre seus agentes, este espaço é mantido e consolidado.

## 7. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALMEIDA, Cláudia Maria de; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira; CÂMARA, Gilberto (2003). **Módulo 6 do Curso 2: “Modelagem Ambiental e Modelos Dinâmicos de Uso e Cobertura do Solo”**, no XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, MG.

ALVES, Dalve Alexandre Soria (1999). **Estudo Comparativo entre Modelos Configuracionais e de Alocação de Tráfego na Análise e Avaliação da Circulação de Pedestres em Áreas Centrais**. Dissertação de Mestrado. Brasília.

AMÂNCIO, Marcelo Augusto; SANCHES, Suely da Penha (2005). **Identificação das Variáveis do Meio Físico Urbano que Incentivam os Deslocamentos pelo Modo a Pé**. Anais do Congresso Pluris 2005, São Carlos, SP.

APABB (1996). Associação dos pais e amigos de pessoas portadoras de deficiência física dos funcionários do Banco do Brasil. **Acessibilidade e desenho universal**. Jornal da APABB, nº 9, ago / set 1996. Disponível em: <http://www.apabb.com.br/jor009.htm>. Acesso em 17 de maio de 2004.

ARAÚJO, Geórgia (1998). **Medidas de Desempenho de Infra-estruturas para pedestres. Estudo de Caso: Travessias Semaforizadas da cidade de São Paulo**. In. Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes Anais XII nov. Fortaleza, Bce. p. 131-141.

ASHFORD, Norman; O'LEARY, M.; MCGINITY, P. D. (1976) **Stochastic Modelling of Passenger and Baggage Flows Through an Airport Terminal**. Traffic Engineering and Control, v.17, Maio, p. 207-210.

BATTY, Michael; TORRENS, Paul M. (2001) **Modeling Complexity: The Limits To Prediction**. Working Paper Series of Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA) University College London. Adquirido online em: <http://www.casa.ucl.ac.uk/paper36.pdf> em junho de 2006.

BATTY, Michael (2003). **Agent-based pedestrian modelling**. Working Papers 61, Center for Advanced Spatial Analysis (CASA), Londres. Adquirido online em: [http://www.casa.ucl.ac.uk/working\\_papers/paper61.pdf](http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers/paper61.pdf).

BERLING-WOLFF, Sheryl; WU, Jianguo (2004). **Modeling urban landscape dynamics: A review**. Ecological Reserch 19, p. 119-129,.

BOCANEGRA, Charlie W. R. (2002). **Procedimento para Tornar Mais Efetivo o Uso das Redes Neurais Artificiais em Planejamento de Transportes**. Dissertação de mestrado; São Carlos - Universidade de São Paulo.

BOURNE, LARRY S. (1976) **Urban Structure and Land Use Decisions**. Annals of the Association of American Geographers 66 (4), 531-535.

BRAGA, Antônio de Pádua; CARVALHO, André Ponce de Leon F. de; LUDERMIR, Teresa B. (2000). **Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, Livros técnicos e científicos editora S.A.

BRASIL (1998). **CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL**. Brasília.

BRASIL (1997). Lei federal Nº 9.503. CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO - CTB (DOU 24.09.1997 – Retif. DOU 25.09.97). Brasília: Diário Oficial.

BRASIL, NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA - NBR 9050 (2004). **Acessibilidade de pessoas portadoras de deficiências a edificações, espaço, mobiliário e equipamento urbanos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

BRONDINO, Nair C. M. (1999). **Estudo da Influência da Acessibilidade no Valor dos Lotes Urbanos Através do Uso das Redes Neurais**. Tese de doutorado; São Carlos - Universidade de São Paulo.

BURDEN, Dan (2001). **Building Communities with Transportation**. Distinguished Lectureship Presentation. Transportation Research Board - TRB, Washington, D. C.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel; MEDEIROS, José Simeão (2003). **Representações Computacionais do Espaço: Fundamentos Epistemológicos da Ciência Da Geoinformação**. Revista Geografia (UNESP), 28(1) jan/abril, p.83-96.

CCI Library (2005). **Analytical Hierarchy Process (AHP) Program**. Canadian Conservation Institute. Disponível em: [http://www.cci-icc.gc.ca/tools/ahp/matrix\\_e.asp](http://www.cci-icc.gc.ca/tools/ahp/matrix_e.asp). Acessado em 26 de abril de 2006.

CUTINI, Valerio (2001). **Configuration and Centrality: Some evidence from two Italian case studies**. Proceedings 3<sup>rd</sup> International Space Syntax Symposium. Atlanta, p. 32.1 - 32.11.

DAROS, E. J. (2000). **O Pedestres**. ABRASPE - Associação Brasileira de Pedestres. São Paulo.

DIJKSTRA, J.; JESSURUN, A.J.; TIMMERMANS, H.J.P. (2000). **A Multi-Agent Cellular Automata System for Visualising Simulated Pedestrian Activity**. In. Theoretical and Practical Issues on Cellular Automata, Proceedings of the Fourth International Conference on Cellular Automata for Research and Industry. Springer-Verlag, Berlin. pp. 29-36.

DIXON, Linda B. (1996). **Bicycle and Pedestrian Level-of-Service Performance Measures and Standards for Congestion Management Systems**. In Transportation Research Record 1538, TRB, National Research Council, Washington, D.C., p. 1 - 9.

Dutch Pedestrian Safety Research (1999). **Review. Research, Development, and Technology**. Turner-Fairbank Highway Research Center.

DVIR, Dov; BEN-DAVID, Arie; SADEH, Arik; SHENHAR, Aaron J. (2006). **Critical managerial factors affecting defense projects success: A comparison between neural network and regression analysis**. Engineering Applications of Artificial Intelligence, v.19, n.5, p.535-543.

ECHENIQUE, Marcial (1976). **Modelos Matemáticos de La Estructura Urbana**. BsSa, SIAP.

FABRI, José A. (2004). **Lógica Fuzzy**. Disponível em: <http://users.femanet.com.br/~fabri/fuzzy.htm>. Acessado em 12 de outubro de 2004.

FERREIRA, M. A. G., SANCHES, S. P. (2001) **Índice de Qualidade das Calçadas - IQC**. *Revista dos Transportes Públicos* - Associação Nacional de Transportes Públicos - ANTP, Ano 23, nº91, 2º trimestre, São Paulo: PW Gráficos e Editores Associados.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda (2004) **Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa**. Curitiba Ed. Positiva.

FILION, Pierre; MCSPURREN, Kathleen; HUETHER, Nancy; (2000). **Synergy and Movement within Suburban Mixed-Use Centers: The Toronto Experience**. Journal of Urban Affairs, v.22, n.4, p. 419-438.

FRUIN, J John (1971). **Designing for Pedestrians: A Level-of-Service Concept**. Transportation Research Record 355, Transportation Research Board, p. 1-15.

GARSON, D. G. (1991) **Interpreting neural-network connection weights**. AI Experts, abril p. 47-51.

GAYE, Lalya; MAZÉ, Ramia; HOLMQUIST, Lars E. (2003). **Sonic City: The Urban Environment as a Musical Interface**. In. Proceedings of the 2003 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME-03), Montreal, Canada.

GORDILLO, Silvia; BALAGUER, Federico; MOSTACCIO, Catalina; NEVES, Fernando das (1999). **Developing GIS Applications with Objects: A Design Patterns Approach**. GeoInformatica, Volume 3, Issue 1, Março, p. 7.

HAKLAY, Mordechai; O'SULLIVAN, David; THURSTAIN-GOODWIN, Mark; and SCHELHORN, Thorsten (2001). **So go downtown: simulating pedestrian movement in town centres**. Environment and Planning B: Planning and Design, 28(3), p.343-359.

HAYKIN, Simon (2001). **Redes Neurais: Princípios e Práticas**. Trad. Paulo Martins Engel. Porto Alegre : Bookman.

HELBING, Dirk (1991). **A Mathematical Model for the Behavior of Pedestrians**. Behavioral Science 36, p. 298-310.

\_\_\_\_\_; (1992). **Models for Pedestrian Behavior**. in: Natural Structures. Principles, Strategies, and Models in Architecture and Nature, Part II p. 93-98.

\_\_\_\_\_; (1992). **A Fluid Dynamic Model for the Movement of Pedestrians**. Complex Systems, Cap 6 Issue 5 p. 391-415.

\_\_\_\_\_; (2000). **Traffic and Related Self-Driven Many-Particle Systems**. Reviews of Modern Physics 73(4), p. 1067-1141.

HELBING, Dirk; MOLNÁR, Péter (1995). Social force model for pedestrian dynamics. Physical Review E, v.51, n.5, p. 4282-4286.

HELBING, D.; MOLNAR, P.; SCHWEITZER, F. (1994). **Computer Simulations of Pedestrian Dynamics and Trail Formation**. in: Evolution of Natural Structures (Sonderforschungsbereich) 230, Stuttgart, p. 229-234.

HELBING, Dirk; MOLNÁR, Péter; FARKAS, Illés J; BOLAY, Kai (2001). **Self-organizing pedestrian movement**. Environment and Planning B: Planning & Design, volume 28. p. 361-383.

HILLIER, Bill LEAMAN, A.; STANSALL, P.; BEDFORD, M. (1976). **Space Syntax**. Environment and Planning B: Planning and Design, volume 3, p. 147 - 185.

HILLIER, Bill (1988). **Against Enclosure. In Rehumanizing house**. N. TEYMOUR, T. MARKUS AND T. WOOLEY (editors). London, Butterworth, p. 63-88.

- \_\_\_\_\_; (1997). **The space is the machine.** Cambridge, Cambridge University Press.
- \_\_\_\_\_; (1999). **The Hidden Geometry of Deformed Grids: Or, Why Space Syntax Works, When it Looks as Though it Shouldn't.** Environment and Planning B: Planning and Design, volume 26 p. 169 - 191.
- HILLIER, Bill; HANSON, Juliene (1984). **The social logic of space.** Cambridge, Cambridge University Press.
- HILLIER, Bill; HANSON, Juliene; PENN, Alan; GRAJEWSKI, T; XU, J. (1993). **Natural movement: or configuration and attraction in urban pedestrian movement.** Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 20.
- HOLANDA, Frederico de (2002). **O espaço de exceção.** Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- HOOGENDOORN, S.P.; BOVY, P.H.L. (2004). **Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models.** Transportation Research Part B, No 38, p.169 - 190.
- HUGHES, Roger L. (2002). **A continuum theory for the flow of pedestrians.** Transportation Research Part B: Methodological, v.36, n.6, p. 507-535.
- IPEA (2003). **Impactos Sociais e Econômicos dos Acidentes de Trânsito nas Aglomerações Urbanas Brasileiras.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, D.F.
- JACOBS, Jane (2000). **Morte e vida das grandes cidades.** ed Martins Fontes.
- JIANG, Bin; CLARAMUNT, Christophe; KLARQVIST, Björn (2000). **Integration of Space Syntax Into GIS for Modelling Urban Spaces.** International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation (JAG) Vol. 2 Issue 3 p.161-171.
- JIANG, Bin; CLARAMUNT, Christophe (2002). **Integration of Space Syntax into GIS: New Perspectives for Urban Morphology.** Transactions in GIS Vol 6 Issue 3 p. 295 - 309.
- JIANG, Bin; CLARAMUNT, Christophe (2003). **Topological analysis of urban street networks.** Environment and Planning B: Planning and Design, volume 31(issue1) p. 151 - 162.
- JIANG, Bin; CLARAMUNT, Christophe (2004). **A Structural Approach to the Model Generalization of an Urban Street Network** GeoInformatica, Vol. 8, No 2, p. 157 - 171.
- KERRIDGE, Jon; HINE, Julian; WIGAN, Marcus (2001). **Agent-Based Modelling of Pedestrian Movements: the Questions that Need to Be Asked and Answered.** Environment and Planning B: Planning and Design, volume 28, p 327-341.
- KHISTY, C. J. (1994). **Evaluation of Pedestrian Facilities: Beyond the Level of Service Concept,** Transportation Research Record 1438, TRB, National Research Council, Washington D.C.
- KLÜPFEL, Hubert L. (2003). **A cellular automaton model for crowd movement and egress simulation.** Tese de Doutorado. Universidade Duisburg-Essen.
- KUROSE, Shigeyuki; BORGERS, Aloys W. J.; TIMMERMANS, Harry J. P. (2001). **Classifying pedestrian shopping behaviour according to implied heuristic choice**

**rules.** Environment and Planning B: Planning and Design, volume 28(3) Maio, p. 405 - 418

KUROSE, Shigeyuki; HAGISHIMA, Satoshi (1995). **A Method for Identifying Accessibility Properties of Pedestrian Shopping Networks.** Journal of Retailing and Consumer Services Vol 2, No 2, p. 111-118.

KWON, Young-In; MORICHI, Shigeru; TETSUO, Yai (1998). **Analysis of pedestrian behavior and planning guidelines with mixed traffic for narrow urban streets.** Transportation Research Record 1636, Journal of Transportation Research Board. p. 116-123.

LA BARRA, T. de (1990). **Integrated Land Use and Transportation Modeling.** Cambridge University Press.

LANDIS J., ZHANG M. (1998). **The second generation of the California urban futures model. Part I: Model logic and theory.** Environment and Planning A vol 30 p. 657-667.

LANDIS, Bruce W; VATTIKUTI, Venkat R; OTTENBERG, Russell M; MCLEOD, Douglas S; GUTTENPLAN, Martin (2001). **Modeling the Roadside Walking Environment: Pedestrian Level of Service.** Transportation Research Record 1773, Transportation Research Board, p. 82-88.

LAWRENCE, Mark; PETERSON, Al; LAWRENCE, Jeannette; FREDRICKSON, Janell (1998). **BrainMaker Professional: User's Guide and Reference Manual.** California Scientific Software, Nevada City, CA.

LÖVÅS, Gunnar G. (1994). **Modeling and Simulation of Pedestrian Traffic Flow.** Transportation Research part B: Methodological, Vol. 28. Issue 6, Dezembro, p. 429-443.

MAGALÃES, Marcos T. Q.; RIOS, Mariana F.; YAMASHITA, Yaeko (2004). **Identificação de Padrões de Posicionamento Determinantes no Comportamento dos Pedestres.** In. Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes Anais XVIII nov. Florianópolis, SC. Bce. p. 999-1010.

MAK, Brenda; BUI tung; BLANNING Robert (1996). **Aggregating and Updating Experts' Knowledge: An Experimental Evaluation of Five Classification Techniques.** Pergamon Expert Systems With Applications, Elsevier Science Ltda, Vol. 10, No. 2, p. 233-241.

MASCARÓ, Juan L. (1994). **Manual de Loteamentos e Urbanização.** Ed Sagra.

MELO, Fábio Barbosa; MOREIRA, Maria Elisabeth Pinheiro (2005). **O Pedestre como Componente Básico da Concepção dos Espaços Públicos.** In. Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes Anais XIX nov. Recife, Bce. p. 1081-1092.

MONHEIM, Heiner (1979). **Atenuación del Tráfico. Comienzo de un Cambio en las Tendencias de la Planificación y del Tráfico.** in La Ciudad Peatonal, Paulhans P. (Org.), Edit. G. Gili, Barcelona.

NOVAES, A. G. (1982). **Modelos em Planejamento Urbano, Regional e de Transportes.** Ed. Edgard Blücher : São Paulo.

OSARAGI, Toshihiro (2004). **Modeling of pedestrian behavior and its application to spatial evaluation.** In Proceedings of Autonomous Agents and Multiagent Systems, volume 2, p. 836-843.

PAMPLONA, Edson de Oliveira (1999). **Avaliação Qualitativa de Cost Drivers pelo método AHP**. VI ABCustos. São Paulo, SP.

PCD (2004). **Portal do cidadão com deficiência**. Disponível em: <http://www.pcd.pt/biblioteca/.doc/D6.doc>. Acesso em 17 de maio de 2004.

PEN, Alan; HILLIER, Bill; BANISTER Doroth; XU, Jiang (1998). **Configurational Modelling of Urban Movement Networks**. In Environment and Planning B, Vol. 25, p. 59-84.

PORTELLA, Adriana A.; CUNHA, Patrícia O. da; DOMINGUEZ, Emílio M. (2002). **Avaliando os atributos de mobilidade e acessibilidade do pedestre em centros comerciais e históricos: caso de Porto Alegre**. Natal: ANPET- XVI Congresso de pesquisa e Ensino em Transportes, 2002, v. 2, p. 287-298.

RAIA JR, Archimedes Azeredo (2000). **Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice de potencial de Viagens Utilizando Redes Neurais Artificiais e Sistemas de Informações Geográficas**. Tese de doutorado; São Carlos - Universidade de São Paulo.

RATTI, Carlo (2005). **The lineage of the line: space syntax parameters from the analysis of urban DEMs**. Environment and Planning B: Planning and Design, volume 32(4) p. 547 - 566.

RIGATTI, Décio (1995). **Apropriação Social do Espaço Público - Um Estudo Comparativo**. Paisagem Ambiente Ensaios. São Paulo, nº 7 p.141-197.

\_\_\_\_\_; (1997). **Do Espaço Projetado ao Espaço Vivido**. Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP.

RODRIGUE, Jean-Paul (1997). **Parallel Distributed Processing of Transportation / Land Use Systems: Theory and Modelling with Neural Networks**. Transportation Research C, Vol. 5, No. 5, p. 259-271.

RUBENSTEIN-MONTANO, B. (2000). **A survey of knowledge-based information systems for urban planning: moving towards knowledge management**. Pergamon, Expert Systems With Applications, Elsevier Science Ltda, Comput., Environ. and Urban Systems 24, p 155-172.

SAATY, Thomas L. (1991). **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill, Makron.

\_\_\_\_\_; (2003). **Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary**. European Journal of Operational Research, Volume 145, Number 1, 16, pp. 85-91.

SAKUMA, Takeshi; MUKAI, Tomohiko; KURIYAMA, Shigeru (2005). **Psychological Model for Animating Crowded Pedestrians**. Computer Animation & Virtual Worlds (Proc. CASA 2005), Vol.16, p.343-351.

SALOMONI, Gian F. (2006). **O Crescimento Urbano por Extensão e Suas Repercussões Morfológicas em Estruturas Urbanas Estudo de Caso: Santa Maria-RS**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Arquitetura. Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional. Porto Alegre, RS.

SANTOS, Carlos N. e VOGEL Arno (Org.) (1985). **Quando a Rua Vira Casa: a Apropriação de Espaços de Uso Coletivo em um Centro de Bairro**. São Paulo, Projeto.

SHIMAKURA, Silvia (2005). **Homepage de bioestatística**. <http://www.est.ufpr.br/~silvia/CE001/ce001.html>. Departamento de Estatística, UFPR. Acessado em 14 Maio de 2005.

SILVA, André de Souza (2004). **O Movimento de Pedestres em Função da Configuração Espacial e das Condições das Calçadas – Estudo de Caso: Área Central de Santa Cruz do Sul/RS**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Arquitetura. Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional. Porto Alegre, RS.

SOUTHWORTH, Michael; BEN-JOSEPH, Eran (1997). **Streets and the Shaping of Towns and Cities**. Washington, DC: Island Press.

SOUZA, Maria Regina Rau (2002). **Produção Espacial Urbana: Um Exercício de Simulação**. Dissertação de mestrado; Programa de pós-graduação em planejamento urbano e regional - UFRGS, Porto Alegre.

STANTON, R. J. C.; WANLESS, G. K. (1985). **Pedestrian Movement**. Safety Science, Vol. 18 Issue 4, Feb. p. 291-300.

TAM, Maggie C. Y.; TUMMALA, V. M. (2001). **An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system**. Omega 29, p. 171-182.

TATIBANA, Cassia Yuri; KAETSU Deisi Yuki (2004). **Homepage de Redes Neurais**. <http://www.din.uem.br/ia/neurais/>. Acessado em 07 Agosto de 2004.

TEKLENBURG, Jan; TIMMERMANS, Harry; VAN WAENBERG, Andreas (1992). **Space Syntax Demystified**. In. Socio-environmental Metamorphoses (Proceedings 12th International Conference of the IAPS), Chalkidiki, Greece, 11-14 Julho p. 178-185.

TEKNOMO, Kardi (2006). **Application of microscopic pedestrian simulation model**. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, v.9, n.1, p.15-27.

TEKNOMO, Kardi; GERILLA, Gloria P. (2005). **Sensitivity Analysis and Validation of a Multi-Agents Pedestrian Model**. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies (EASTS), Vol 6, p.198-213.

TILLEMA, Frans; ZUILEKOM, Kasper M. van; MAARSEVEEN, Martin F. A. M. van (2006). **Comparison of Neural Networks and Gravity Models in Trip Distribution**. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 21, p.104–119.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (2000). **Special Report 209: Highway Capacity Manual (HCM)**, National Research Council, Washington D.C.

TURNER, Alasdair; PENN, Alan (2002). **Encoding natural movement as an agent-based system: an investigation into human pedestrian behaviour in the built environment**. Environment and Planning B: Planning and Design, 29. p. 473-490.

TURNER, Alasdair; PENN, Alan; HILLIER, Bill (2005). **An algorithmic definition of the axial map**. Environment and Planning B: Planning and Design, volume 32(3), p. 425 - 444.

WAS, Jaroslaw (2005). **Cellular automata model of pedestrian dynamics for normal and evacuation conditions.** Intelligent Systems Design and Applications (ISDA) 2005. Proceedings. 5th International Conference, p. 154- 159.

WEGENER, Michael (1994). **Operational Urban Models, State of the Art.** Journal of American Planning Association, vol 60.

ZACHARIAS, John (2001). **Pedestrian Behavior and Perception in the Urban Walking Environments.** Journal of Planning Literature, Vol. 16 No 1 p. 3-18.

ZUBEN, Fernando J. Von (2003). **Uma Caricatura Funcional de Redes Neurais Artificiais.** Learning and Nonlinear Models – Revista da Sociedade Brasileira de Redes Neurais, Vol. 1, No. 2, p. 77-87.

## ANEXO A – PROJETO PILOTO AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS SINTÁTICAS

### UTILIZAR UMA OU DUAS SAÍDAS POR MODELO?

Comparação entre cenários para estimar se as melhores correlações são obtidas quando o modelo utiliza as variáveis de entrada com uma ou duas saídas juntas.

#### Cenário 01

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições / Atratores / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento, Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento			Teste		
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par
Cenario1-1	250	13	0.0193	0.9939	0.9925	0.0858	0.9269	0.9230
Cenario1-2	250	15	0.0199	0.9938	0.9927	0.0886	0.9266	0.9229
Cenario1-3	250	18	0.0225	0.9927	0.9921	0.0880	0.9305	0.9286
Cenario1-4	250	21	0.0220	0.9942	0.9891	0.0964	0.9255	0.9337

#### Cenário 02

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições / Atratores / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento			Teste		
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par
Cenario2-1	250	13	0.0178	0.9935		0.1180	0.9413	
Cenario2-2	300	15	0.0173	0.9945		0.1147	0.9450	
Cenario2-3	300	18	0.0247	0.9885		0.1579	0.9503	
Cenario2-4	300	21	0.0227	0.9906		0.1170	0.9500	

#### Cenário 03

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições / Atratores / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento			Teste		
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par
Cenario3-1	250	13	0.0263		0.9891	0.0937		0.8701
Cenario3-2	250	15	0.0259		0.9896	0.0623		0.9351
Cenario3-3	300	18	0.0245		0.9887	0.0653		0.9433
Cenario3-4	300	21	0.0280		0.9880	0.0805		0.9028

## Análise dos resultados obtidos

Os melhores resultados (destacados) são dos modelos que utilizam somente uma saída. Na comparação entre os resultados dos modelos de duas saídas e o de uma saída em movimento, embora o erro médio do modelo de duas saídas seja menor, as correlações entre as variáveis e a saída menor são mais altas, quase 3%. Também a comparação entre o modelo de duas saídas e o de uma saída com pedestres parados dá uma correlação maior com menor erro médio ao modelo de uma saída. Por estes motivos foi escolhido trabalhar os modelos com saídas separadas.

## UTILIZAR CONSTITUIÇÕES EM METROS OU EM UNIDADES?

Comparação entre cenários para estimar se as melhores correlações são obtidas quando o modelo utiliza a variável ‘constituição’ em metros lineares de fachada ou por unidades.

### Cenário 04

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atradores / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	ERAM	R <sup>2</sup> Mov
Cenário4-1	350	12	0.0219	0.9905	0.0968	0.9580
Cenário4-2	350	15	0.0224	0.9915	0.1479	0.9901
Cenário4-3	400	18	0.0213	0.9913	0.1035	0.9740
Cenário4-4	350	21	0.0245	0.9867	0.0923	0.9915
Cenário4-5	350	25	0.0236	0.9884	0.9665	0.9665

### Cenário 05

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em unidades / Atradores / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	ERAM	R <sup>2</sup> Mov
Cenário5-1	350	12	0.0239	0.9896	0.0993	0.9615
Cenário5-2	350	15	0.0239	0.9865	0.0977	0.9757
Cenário5-3	400	18	0.0189	0.9903	0.1085	0.9589
Cenário5-4	350	21	0.0207	0.9914	0.1019	0.9708

Cenário5-5	500	25	0.0176	0.9936	0.0964	0.9677
------------	-----	----	--------	--------	--------	--------

### Cenário 06

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atratores / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Par
Cenário6-1	250	12	0.0230	0.9926	0.0895	0.8987
Cenário6-2	300	15	0.0224	0.9909	0.0771	0.9284
Cenário6-3	300	18	0.0201	0.9924	0.0801	0.9233
Cenário6-4	350	21	0.0227	0.9914	0.0726	0.9417
Cenário6-5	350	25	0.0200	0.9921	0.0681	0.9463

### Cenário 07

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em unidades / Atratores / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Par
Cenário7-1	300	12	0.0207	0.9923	0.0839	0.8981
Cenário7-2	300	15	0.0229	0.9907	0.0948	0.8852
Cenário7-3	300	18	0.0214	0.9918	0.0860	0.9067
Cenário7-4	300	21	0.0195	0.9927	0.0837	0.9150
Cenário7-5	350	25	0.0191	0.9934	0.0829	0.9013

Análise dos resultados obtidos

Em ambos os casos os melhores valores dos coeficientes de correlação e o menor do erro absoluto médio foram obtidos utilizando o valor das constituições em metros.

UTILIZAR ATRADORES EM METROS OU EM UNIDADES?

Comparação entre cenários para estimar se as melhores correlações são obtidas quando o modelo utiliza as variáveis ‘atratores’ pela sua área em metros quadros ou por unidades.

### Cenário 04

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atratores em metros / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	ERAM	R <sup>2</sup> Mov
Cenário4-1	350	12	0.0219	0.9905	0.0968	0.9580
Cenário4-2	350	15	0.0224	0.9915	0.1479	0.9901
Cenário4-3	400	18	0.0213	0.9913	0.1035	0.9740
Cenário4-4	350	21	0.0245	0.9867	0.0923	0.9915
Cenário4-5	350	25	0.0236	0.9884	0.0966	0.9665

### Cenário 08

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atratores em unidades / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	ERAM	R <sup>2</sup> Mov
Cenário8-1	300	12	0.0199	0.9913	0.1014	0.9736
Cenário8-2	300	15	0.0252	0.9860	0.1036	0.9499
Cenário8-3	300	18	0.0253	0.9907	0.1311	0.9300
Cenário8-4	300	21	0.0263	0.9898	0.1205	0.9473

### Cenário 06

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atratores em metros / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Par
Cenário6-1	250	12	0.0230	0.9926	0.0895	0.8987
Cenário6-2	300	15	0.0224	0.9909	0.0771	0.9284
Cenário6-3	300	18	0.0201	0.9924	0.0801	0.9233
Cenário6-4	350	21	0.0227	0.9914	0.0726	0.9417
Cenário6-5	350	25	0.0200	0.9921	0.0681	0.9463

### Cenário 09

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atratores em unidades / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Par
Cenário9-1	300	12	0.0211	0.9913	0.1007	0.9223
Cenário9-2	300	15	0.0227	0.9912	0.1179	0.9317
Cenário9-3	300	18	0.0244	0.9907	0.0640	0.9618
Cenário9-4	350	21	0.0237	0.9918	0.0804	0.9201

## Análise dos resultados obtidos

No cenário em que o output é o número de pedestres em movimento, a variável representada pelos atratores em metros foi mais significativa obtendo um coeficiente de determinação maior e erro absoluto médio menor. Quanto aos pedestres parados, o melhor resultado foi o dos atratores em unidades, tanto nos coeficientes de correlação quanto no erro absoluto médio.

## DISCRIMINAR OS ATRADORES UTILIZADOS PARA MODELO DE MOVIMENTO?

Comparação entre cenários para estimar se as melhores correlações são obtidas quando o modelo utiliza as variáveis ‘atratores’ discriminadas entre os atratores localizados no térreo e aqueles localizados em outros pavimentos (que geralmente possuem uma circulação comum de acesso) para o modelo de pedestres em movimento.

### Cenário 04

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atratores em metros - soma total / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	ERAM	R <sup>2</sup> Mov
Cenario4-1	350	12	0.0219	0.9905	0.0968	0.9580
Cenario4-2	350	15	0.0224	0.9915	0.1479	0.9901
Cenario4-3	400	18	0.0213	0.9913	0.1035	0.9740
Cenario4-4	350	21	0.0245	0.9867	0.0923	0.9915
Cenario4-5	350	25	0.0236	0.9884	0.0966	0.9665

### Cenário 10

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atratores em metros - total discriminado em pav. térreo e outros pav. / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	ERAM	R <sup>2</sup> Mov
Cenário10-1	500	16	0.0232	0.9893	0.1109	0.9613
Cenário10-2	500	18	0.0181	0.9949	0.1314	0.9355
Cenário10-3	500	21	0.0192	0.9925	0.1757	0.8268

### Cenário 11

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atratores em metros - total discriminado somente pav. térreo / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	ERAM	R <sup>2</sup> Mov
Cenário11-1	500	12	0.0222	0.9911	0.1023	0.9645
Cenário11-2	500	15	0.0278	0.9846	0.0809	0.9830
Cenário11-3	500	18	0.0216	0.9912	0.1012	0.9515

### Cenário 12

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atratores em metros - total discriminado somente outros pav. / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	ERAM	R <sup>2</sup> Mov
Cenário12-1	350	12	0.0250	0.9838	0.1293	0.9605
Cenário12-2	350	15	0.0253	0.9885	0.1048	0.9578
Cenário12-3	350	18	0.0262	0.9850	0.0952	0.9710
Cenário12-4	400	21	0.0270	0.9838	0.1408	0.9655

#### Análise dos resultados obtidos

No cenário em que o output é o número de pedestres em movimento, a variável representada pelos 'atratores' teve um desempenho um pouco maior quando utilizada com a soma dos atratores, isto é, sem discriminar os atratores térreos e de outros pavimentos.

## DISCRIMINAR OS ATRADORES UTILIZADOS PARA MODELO DE PEDESTRES PARADOS?

Comparação entre cenários para estimar se as melhores correlações são obtidas quando o modelo utiliza as variáveis ‘atradores’ discriminadas entre os atradores localizados no térreo e aqueles localizados em outros pavimentos (que geralmente possuem uma circulação comum de acesso) para o modelo de pedestres parados.

### Cenário 09

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atradores em unidades - soma total das áreas / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Par
Cenario9-1	300	12	0.0211	0.9913	0.1007	0.9223
Cenario9-2	300	15	0.0227	0.9912	0.1179	0.9317
Cenario9-3	300	18	0.0244	0.9907	0.0640	0.9618
Cenario9-4	350	21	0.0237	0.9918	0.0804	0.9201

### Cenário 13

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atradores em unidades - total discriminado em pav. térreo e outros pav. / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Par
Cenario13-1	500	16	0.0245	0.9908	0.0519	0.9767
Cenario13-2	500	18	0.0188	0.9928	0.0532	0.9813
Cenario13-3	500	21	0.0203	0.9925	0.0715	0.9429

### Cenário 14

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atradores em unidades - total discriminado somente pav. térreo / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Par
Cenario14-1	300	12	0.0366	0.9562	0.0437	0.9866
Cenario14-2	350	15	0.0280	0.9820	0.0752	0.9549
Cenario14-3	400	18	0.0376	0.9577	0.0333	0.9896
Cenario14-4	500	21	0.0319	0.9715	0.0417	0.9851

## Cenário 15

**Entrada:** Medidas sintáticas: Grupo de medidas sintáticas / Constituições em metros / Atratores em unidades - total discriminado somente outros pav. / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Par
Cenario15-1	300	12	0.0236	0.9899	0.0582	0.9471
Cenario15-2	350	15	0.0201	0.9924	0.0610	0.9547
Cenario15-3	400	18	0.0194	0.9935	0.0596	0.9502
Cenario15-4	500	21	0.0213	0.9906	0.0344	0.9888

Análise dos resultados obtidos

No cenário em que o output é o número de pedestres parados, a variável representada pelos ‘atratores’ teve pouca diferença de desempenho entre os cenários. Desta feita, escolheu-se por utilizar a soma total dos atratores sem discriminar em pavimentos.

## ANEXO B – PROJETO PILOTO AVALIAÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO

### UTILIZAR UMA OU DUAS SAÍDAS POR MODELO?

A comparação entre estes cenários vai estimar se as melhores correlações são obtidas quando o modelo correlaciona as variáveis de entrada com uma ou duas saídas para as medidas de desempenho.

#### Cenário 01

**Entrada:** Nota total das medidas de desempenho / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento, Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento			Teste		
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par
Cen1-1	750	10	0.0860	0.5848	0.7536	0.1680	0.5743	0.8016
Cen1-2	500	12	0.0881	0.5733	0.7479	0.1678	0.6014	0.7470
Cen1-3	600	15	0.0868	0.5837	0.7471	0.1657	0.6279	0.7571
Cen1-4	600	18	0.0868	0.5764	0.7498	0.1714	0.5022	0.7786

#### Cenário 02

**Entrada:** Nota total das medidas de desempenho / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento			Teste		
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par
Cen2-1	500	10	0.0854	0.5760		0.1287	0.7591	
Cen2-2	750	12	0.0849	0.5811		0.1271	0.7770	
Cen2-3	600	15	0.0835	0.5832		0.1278	0.7723	
Cen2-4	600	18	0.0869	0.5598		0.1334	0.7337	

#### Cenário 03

**Entrada:** Nota total das medidas de desempenho / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento			Teste		
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Mov	R <sup>2</sup> Par
Cen2-1	500	10	0.0877		0.7487	0.2001		0.6986
Cen2-2	750	12	0.0880		0.7495	0.1867		0.8050
Cen2-3	750	15	0.0919		0.7406	0.1991		0.7184

## Análise dos resultados obtidos

Os melhores resultados foram obtidos pelos cenários que utilizaram as medidas de desempenho correlacionando-as com suas saídas em separado.

## UTILIZAR A NOTA TOTAL OU AS MEDIDAS DE DESEMPENHO SEGREGADAS?

A comparação entre estes cenários vai estimar se os melhores desempenhos são obtidos quando o modelo correlaciona as variáveis de entrada com as medidas com o seu valor através da nota total do nível de serviço, com as notas das medidas de desempenho ou com as notas segregas em atributos.

### Cenário 02

**Entrada:** Nota total das medidas de desempenho (ponderada) / Comprimento, Largura.  
**Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	ERAM	R <sup>2</sup> Mov
Cen2-1	500	10	0.0854	0.5760	0.1287	0.7591
Cen2-2	750	12	0.0849	0.5811	0.1271	0.7770
Cen2-3	600	15	0.0835	0.5832	0.1278	0.7723
Cen2-4	600	18	0.0869	0.5598	0.1334	0.7337

### Cenário 04

**Entrada:** Nota das medidas de desempenho ponderadas / Comprimento, Largura.  
**Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	ERAM	R <sup>2</sup> Mov
Cen4-1	600	10	0.0330	0.9784	0.0788	0.9780
Cen4-2	600	12	0.0320	0.9786	0.0962	0.9791
Cen4-3	600	15	0.0357	0.9763	0.0777	0.9740
Cen4-4	600	18	0.0327	0.9804	0.0902	0.9827
Cen4-5	600	21	0.0371	0.9739	0.0735	0.9773

### Cenário 05

**Entrada:** Nota das medidas de desempenho segregadas em atributos e ponderadas / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	ERAM	R <sup>2</sup> Mov
Cen5-1	600	17	0.0212	0.9914	0.1126	0.9408
Cen5-2	600	19	0.0170	0.9931	0.1368	0.9075
Cen5-3	600	21	0.0238	0.9888	0.1595	0.8227

### Cenário 03

**Entrada:** Nota total das medidas de desempenho / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Par
Cen2-1	500	10	0.0877	0.7487	0.2001	0.6986
Cen2-2	750	12	0.0880	0.7495	0.1867	0.8050
Cen2-3	750	15	0.0919	0.7406	0.1991	0.7184

### Cenário 06

**Entrada:** Nota das medidas de desempenho ponderadas / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Par
Cen6-1	600	10	0.0461	0.9658	0.0994	0.8978
Cen6-2	600	12	0.0383	0.9742	0.1184	0.8664
Cen6-3	300	15	0.0556	0.9441	0.0750	0.9391
Cen6-4	600	18	0.0422	0.9720	0.1038	0.8973
Cen6-5	600	21	0.0415	0.9737	0.1101	0.8857

### Cenário 07

**Entrada:** Nota das medidas de desempenho ponderadas e segregadas / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Par
Cen7-1	600	17	0.0226	0.9920	0.0966	0.8935
Cen7-2	550	19	0.0192	0.9940	0.0852	0.9012
Cen7-3	600	21	0.0189	0.9927	0.1041	0.9041
Cen7-31	300	21	0.0235	0.9920	0.0967	0.8949
Cen7-4	600	24	0.0210	0.9932	0.0933	0.8765

## Análise dos resultados obtidos

Nos resultados obtidos, as variáveis das medidas de desempenho que obtiveram os melhores desempenhos foram as medidas de desempenho separadas para ambos os tipos de saídas, pedestres parados e pedestres em movimento.

## UTILIZAR MEDIDAS PONDERADAS OU NÃO?

As medidas de desempenho são ponderadas de acordo com o questionário feito aos usuários. O que se pretende descobrir é qual delas tem uma correlação maior com a saída, ou seja, o número de pedestres.

### Cenário 04

**Entrada:** Nota das medidas de desempenho ponderadas / Comprimento, Largura.

**Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	ERAM	R <sup>2</sup> Mov
Cen4-1	600	10	0.0330	0.9784	0.0788	0.9780
Cen4-2	600	12	0.0320	0.9786	0.0962	0.9791
Cen4-3	600	15	0.0357	0.9763	0.0777	0.9740
Cen4-4	600	18	0.0327	0.9804	0.0902	0.9827
Cen4-41	300	18	0.0483	0.9398	0.0675	0.9948
Cen4-5	600	21	0.0371	0.9739	0.0735	0.9773

### Cenário 08

**Entrada:** Nota das medidas de desempenho / Comprimento, Largura. **Saída:** Total movimento.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Mov	ERAM	R <sup>2</sup> Mov
Cen8-1	500	10	0.0384	0.9691	0.0808	0.9742
Cen8-2	600	12	0.0341	0.9758	0.0747	0.9679
Cen8-3	600	15	0.0343	0.9769	0.0708	0.9812
Cen8-31	300	15	0.0479	0.9431	0.0732	0.9902
Cen8-4	600	18	0.0344	0.9761	0.0711	0.9797
Cen8-5	600	21	0.0310	0.9804	0.0831	0.9739

### Cenário 06

**Entrada:** Nota das medidas de desempenho ponderadas / Comprimento, Largura.

**Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Par
Cen6-1	600	10	0.0461	0.9658	0.0994	0.8978
Cen6-2	600	12	0.0383	0.9742	0.1184	0.8664
Cen6-3	300	15	0.0556	0.9441	0.0750	0.9391
Cen6-4	600	18	0.0422	0.9720	0.1038	0.8973
Cen6-5	600	21	0.0415	0.9737	0.1101	0.8857

### Cenário 09

**Entrada:** Nota das medidas de desempenho / Comprimento, Largura. **Saída:** Total parado.

Shuffles: 4		Neur. CO	Treinamento		Teste	
Arquivo:	Rod		ERAM	R <sup>2</sup> Par	ERAM	R <sup>2</sup> Par
Cen9-1	300	10	0.0571	0.9420	0.0775	0.9391
Cen9-2	300	12	0.0597	0.9379	0.0691	0.9463
Cen9-3	300	15	0.0556	0.9428	0.0750	0.9400
Cen9-4	300	18	0.0595	0.9371	0.0695	0.9477
Cen9-5	300	21	0.0608	0.9364	0.0697	0.9487

#### Análise dos resultados obtidos

Os resultados encontrados para as saídas em movimento e parado foram quase idênticas para ambos os casos, demonstrando que a pesquisa de opinião revela algo muito significativo para o estudo urbano, mas não muito importante para esta pesquisa em particular.



## CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DO MODELO DE PEDESTRES PARADOS

**Tabela 32 - Anexo C - Quadrado da correlação ( $R^2$ ) entre as variáveis utilizadas no modelo de pedestres parados. Fonte: original do autor.**

	Integração RN	Integração R3	Conectividade	Controle	Profundidade	Constituição	Residencial	Comércio	Serviços	Outros	Largura Média	Comprimento	Atratividade	Conforto	Manutenção	Segurança	Segurança Pública	Movimento total
Integração RN		0.64	0.41	0.15	0.15	0.04	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.07	0.01	0.20	0.04
Integração R3			0.9	0.63	0.19	0.06	0.00	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.00	0.14	0.04
Conectividade				0.8	0.20	0.09	0.01	0.08	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.12	0.06
Controle					0.08	0.06	0.00	0.08	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.05	0.04
Profundidade						0.12	0.00	0.03	0.02	0.01	0.06	0.00	0.04	0.08	0.03	0.13	0.19	0.11
Constituição							0.08	0.42	0.12	0.00	0.28	0.23	0.03	0.01	0.02	0.04	0.08	0.58
Residencial								0.00	0.01	0.08	0.00	0.29	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
Comércio									0.30	0.01	0.27	0.01	0.07	0.09	0.00	0.07	0.14	0.42
Serviços										0.00	0.38	0.00	0.01	0.08	0.00	0.18	0.15	0.19
Outros											0.00	0.08	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Largura Média												0.01	0.11	0.27	0.06	0.46	0.19	0.60
Comprimento													0.09	0.19	0.20	0.15	0.06	0.00
Atratividade														0.26	0.11	0.21	0.22	0.14
Conforto															0.27	0.46	0.36	0.15
Manutenção																0.16	0.02	0.00
Segurança																	0.55	0.28
Segurança Pública																		0.23
Movimento total																		

**Tabela 33 - Anexo C - Legenda da intensidade das correlações entre as variáveis. Fonte: original do autor.**

Correlações	Intensidade
0,00 a 0,19	bem fraca
0,20 a 0,39	fraca
0,40 a 0,69	moderada
0,70 a 0,89	forte
0,90 a 1,00	muito forte