

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Programa de Pós-Graduação

Engenharia de Produção

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA ANÁLISE
LOCACIONAL DE SISTEMAS EDUCACIONAIS USANDO MODELOS DE
INTERAÇÃO ESPACIAL E INDICADORES DE ACESSIBILIDADE

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do
título de *Doutor em Engenharia de Produção*

Lourdes Maria Werle de Almeida

Orientadora

Mirian Buss Gonçalves, Dr^a



UFSC-BU



Florianópolis - SC

Julho de 1999

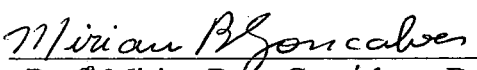
DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA ANÁLISE
LOCACIONAL DE SISTEMAS EDUCACIONAIS USANDO MODELOS
DE INTERAÇÃO ESPACIAL E INDICADORES DE ACESSIBILIDADE


Lourdes Maria Werle de Almeida


Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de *Doutor em Engenharia de Produção* e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação.

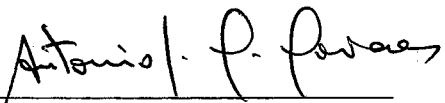

Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph. D.
Coordenador

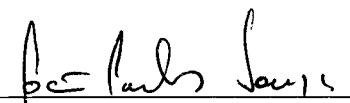
BANCA EXAMINADORA:


Prof.ª Mirian Buss Gonçalves, Dr.ª
Orientadora


Prof. José Eduardo Souza de Cursi, Dr
Examinador Externo
INSA de Rouen - França


Prof. Orlando Strambi, Dr
Examinador Externo
USP- São Paulo


Prof. Antônio G. Novaes, Dr.


Prof. João Carlos Souza, Dr

**Dedico ao Antonio Carlos,
ao Luiz Augusto e
à Eloise**

AGRADECIMENTOS

À Deus, fonte de todo conhecimento e sabedoria.

À professora Mirian Buss Gonçalves, pela sua orientação segura e constante amizade durante a elaboração deste trabalho.

Aos colegas do curso em geral e, em especial ao Odacir D. Graciolli e à Fabiana S. Lima pelas contribuições e sugestões que muito contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

À amiga Jacinta L. Zambotti, pelas contribuições.

À Universidade Estadual de Londrina e aos colegas do Departamento de Matemática que proporcionaram os meios para a realização deste trabalho.

Aos alunos do curso de Bacharelado em Matemática que auxiliaram na coleta de dados junto às escolas.

Aos funcionários do Núcleo Regional de Ensino, da Secretaria de Educação do Município e do Instituto de Planejamento de Londrina (IPPUL) que forneceram as informações necessárias para a realização deste trabalho.

À meu esposo, Antonio Carlos, pelo apoio permanente e incondicional.

À meus filhos, pelo carinho e compreensão.

À meus pais (in memoriam) que ambos saíram do meu convívio durante a realização deste trabalho mas que, sem dúvida, da dimensão mais plena onde hoje se encontram, estão torcendo pelo meu sucesso.

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se uma metodologia que pode ser utilizada como instrumento auxiliar no planejamento de sistemas educacionais, com ênfase na análise da distribuição espacial das escolas e do acesso dos estudantes às mesmas.

A avaliação do sistema é feita através de modelo de interação espacial e de um indicador de acessibilidade, os quais fornecem resultados que permitem também a análise da questão da equidade no acesso dos estudantes às escolas.

Dentre os aprimoramentos analítico-conceituais merece destaque o desenvolvimento de um método que permite a incorporação de aspectos comportamentais dos indivíduos nos modelos propostos através da utilização de técnicas de preferência declarada.

A metodologia estabelece mecanismos para a avaliação de uma rede escolar, bem como, para a análise de propostas de criação, expansão ou transformação na mesma.

O estudo de caso, realizado para uma cidade de médio porte, revela a praticidade e operacionalidade da metodologia e demonstra que esta pode ser um instrumental de avaliação de propostas alternativas para o sistema, uma vez que permite antever os impactos destas propostas sobre grupos específicos da população.

A performance dos modelos matemáticos é avaliada através de medidas estatísticas apropriadas, as quais denotam que estes modelos conduzem a resultados estatisticamente significantes na área de estudo.

ABSTRACT

In this work we develop a methodology that can be used as auxiliary instrument in the planning of educational systems, with emphasis on the spatial planning and spatial distribution of the schools and on the analysis of the potential access of the students to the same ones.

The evaluation of the system is made through spatial-interaction modelling and the use of an accessibility index, which supply results that also allow the analysis of the subject of the equity in the access of the students to the schools.

Amongst the analytic-conceptual improvements, main emphasis is laid on the development of a method that consider the incorporation of the individuals' behavior foundations in the models through the use of stated preference techniques.

The methodology establishes mechanisms for the evaluation of a school net, as well as, for the evaluation of alternative plans of creation, expansion or transformation in the school net.

The practical application, shows the applicability of the introduced method, and it demonstrates that this can be an instrumental to evaluate alternative proposals, once it allows to foresee the impacts of these proposals on specific groups of the population.

The performance of the mathematical models is evaluated through appropriate statistical measures, which reveals that these models are accurate and suitable to analyse the study area.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Motivação para o estudo.....	1
1.2 - Objetivos do trabalho.....	5
1.3 - Estrutura do trabalho.....	7
2. SISTEMAS EDUCACIONAIS.....	9
2.1 - Introdução.....	9
2.2 - Planejamento e sistemas educacionais.....	10
2.3 - Modelos matemáticos e sistemas educacionais.....	15
2.4 - Acessibilidade nos sistemas educacionais.....	20
2.5 - Aspectos econômicos e sociais e a educação escolar.....	22
3. PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO E MODELOS DE INTERAÇÃO ESPACIAL.....	29
3.1 - Introdução.....	29
3.2 - Problemas de localização.....	30
3.3 - Modelos de interação espacial.....	33
3.3.1 - Modelos gravitacionais.....	34
3.3.2 - Modelos de oportunidades intervenientes.....	38
3.3.3 - Modelos gravitacionais de oportunidades.....	40
3.4 - Considerações sobre a definição das oportunidades intervenientes.....	42
3.5 - Modelos de interação espacial e entropia.....	44
3.5.1 - Os conceitos de entropia.....	45
3.5.2 - Entropia, probabilidades e incerteza.....	45
3.5.3 - O método da maximização da entropia e a dedução dos modelos de distribuição de viagens.....	47
3.6 - Um enfoque microeconômico.....	56
4. TÉCNICAS DE PREFERÊNCIA DECLARADA.....	59

4.1 - Introdução.....	59
4.2 - Conceito.....	60
4.3 - Características da técnica de preferência declarada.....	61
4.4 - Função utilidade.....	62
4.4.1 - Função utilidade e preferência declarada.....	63
4.5 - Etapas de um experimento de preferência declarada.....	66
4.5.1 - Definição do método de entrevistas.....	67
4.5.2 - Seleção da amostra.....	67
4.5.3 - Forma e complexidade do experimento.....	68
4.5.4 - A medição da escolha.....	68
4.5.5 - Análise de dados.....	69
4.6 - Modelo logit multinomial.....	70
4.7 - Ajuste por máxima verossimilhança.....	70
4.8 - Modelo logit explodido.....	71
5 . ACESSIBILIDADE.....	73
5.1 - Introdução.....	73
5.2 - Conceito.....	74
5.3 - Acessibilidade no contexto social e econômico.....	77
5.4 - Indicadores de acessibilidade.....	79
5.4.1 - Medidas de separação espacial.....	81
5.4.2 - Indicadores que incorporam separação espacial e uma medida de atratividade.....	85
5.4.3 - Outras abordagens.....	87
6. UMA METODOLOGIA PARA ANÁLISE LOCACIONAL.....	90
6.1 - Introdução.....	90
6.2 - Escolha do modelo matemático.....	92
6.3 - Definição de uma medida de separação espacial.....	94
6.4- Definição de um método para incorporar aspectos comportamentais dos viajantes no modelo gravitacional de oportunidades.....	94
6.4.1 - Definição de uma medida de oportunidades.....	95
6.4.2 - Definição das unidades intervenientes.....	96

6.4.2.1 - Caracterização da pesquisa.....	96
6.4.2.2 - Identificação dos atributos e seus níveis.....	97
6.4.2.3 - Quantificação das preferências e estimação da função utilidade.....	98
6.4.2.4 - Obtenção das escolas intervenientes.....	100
6.4.3 - Definição da matriz de oportunidades intervenientes.....	101
6.5 - A calibração do modelo gravitacional de oportunidades.....	101
6.6 - Definição de um indicador de acessibilidade.....	103
6.7 - Aplicações da metodologia ao planejamento estratégico.....	107
6.7.1- Avaliação da localização atual das unidades escolares.....	108
6.7.2 - Sugestão de estratégias viáveis.....	109
7. UMA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA	111
7.1 - Introdução.....	111
7.2 - Escolha e zoneamento da área de estudo.....	111
7.3 - Escolha do segmento educacional e sua caracterização na área de estudo.....	112
7.4 - Definição da separação espacial.....	117
7.5 - Obtenção da matriz de oportunidades intervenientes através de modelos de preferência declarada.....	118
7.5.1 - Definição dos atributos e seus níveis.....	119
7.5.2 - Elaboração das alternativas e realização das entrevistas.....	120
7.5.3 - Calibração dos parâmetros da função utilidade.....	120
7.5.4 - Obtenção da matriz de utilidades.....	122
7.5.5 - Determinação das escolas intervenientes.....	123
7.5.6 - Obtenção da matriz de oportunidades intervenientes.....	125
7.6 - Calibração do modelo gravitacional de oportunidades e a estimação do fluxo de estudantes.....	126
7.7 - A obtenção do nível de acessibilidade dos estudantes.....	129
7.8 - Simulação de algumas situações para o sistema escolar.....	132
7.9 - Análise comparativa dos resultados.....	134
7.9.1 - Análise da equidade.....	136
7.10 - Considerações finais.....	137

8. UMA ANÁLISE DOS MODELOS USADOS NA METODOLOGIA.....	138
8.1 - Introdução.....	138
8.2 - Análise do desempenho do modelo gravitacional de oportunidades.....	138
8.2.1- Os resultados obtidos.....	140
8.2.2- Aplicação do modelo gravitacional à área de estudo.....	140
8.3 - Uma análise do indicador de acessibilidade.....	141
9. CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS POSTERIORES.....	147
9.1 - Conclusões.....	147
9.2 - Contribuições.....	149
9.3 - Sugestões para pesquisas posteriores.....	150
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	152
ANEXO 1 - Conjunto de atributos apresentados aos estudantes.....	162
ANEXO 2 - Pesquisa usada para obter a matriz observada $[T_{ij}^*]$	163
ANEXO 3 - Cartões usados na pesquisa de preferência declarada.....	164
ANEXO 4 - Matriz de utilidades.....	167

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Percentual de brasileiros analfabetos com 15 anos ou mais. (Fonte: Castro, 1998).....	24
Tabela 2.2 - Percentual da população e da PEA entre 25 e 64 anos por nível de escolaridade. (Fonte: Castro, 1998).....	25
Tabela 6.1 - Atributos relevantes e seus níveis - um exemplo.....	98
Tabela 6.2 - Definição do conjunto $(EI)_{ij}$ de escolas intervenientes.....	101
Tabela 7.1 - Características das zonas de tráfego.....	113
Tabela 7.2 - Atributos selecionados e sua frequência.....	116
Tabela 7.3 - Atributos selecionados e seus respectivos níveis.....	119
Tabela 7.4 - Resultados da calibração dos coeficientes da função utilidade.....	121
Tabela 7.5 - Fatores de balanceamento obtidos pela calibração do modelo gravitacional de oportunidades.....	127
Tabela 7.6 - Valor da acessibilidade obtido para as zonas de tráfego.....	130
Tabela 7.7 - Percentual de alunos em cada faixa de acessibilidade.....	131
Tabela 7.8 - Melhorias previstas para as escolas na Simulação 2.....	133
Tabela 7.9 - Valor da acessibilidade para as diferentes configurações do sistema escolar.....	135
Tabela 7.10 - Percentual de estudantes por faixa de acessibilidade nas diferentes configurações do sistema.....	136
Tabela 7.11 - Desvio Médio e Desvio Padrão dos conjuntos de índices de acessibilidade.....	137
Tabela 8.1 - Valor das estatísticas usadas para avaliar o desempenho do modelo.....	141
Tabela 8.2 - Valores da acessibilidade obtidos pelos diferentes indicadores.....	143
Tabela 8.3 - Valores obtidos para os Coeficientes de Correlação.....	145
Tabela 8.4 - Valores do Coeficiente de Variação para os indicadores de acessibilidade.....	146

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fases do Planejamento.....	14
Figura 2.2 - Modelo geral (Fonte: Lazlo, 1983).....	16
Figura 2.3 - Modelo geral para um sistema educacional (Adaptação: Tavares, 1991).....	18
Figura 2.4 - Evolução da taxa de engajamento de jovens no ensino médio. (Fonte: Helene, 1994).....	27
Figura 3.1 - Definição de oportunidades intervenientes dada por Stouffer (Fonte: Gonçalves, 1992).....	43
Figura 5.1 - Reorganização espacial (Fonte: Mackiewicz e Ratajczak, 1994).....	76
Figura 5.2 - Acessibilidade relativa e acessibilidade integral.....	82
Figura 7.1 - Zoneamento da cidade Londrina e a distribuição espacial das escolas públicas de nível médio.....	112
Figura 7.2 - Nível de acessibilidade dos estudantes das zonas de tráfego.....	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1 - Indicadores de acessibilidade e seus parâmetros.....	87
Quadro 7.1 - Dados sobre a população entrevistada.....	117

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - Motivação para o estudo

O discurso que enfatiza a necessidade de se enfrentar e resolver os problemas observados no quadro da realidade educacional brasileira é hoje unanimidade nacional.

O balanço da situação da educação no país e os cenários projetados para a próxima década, denotam que há enormes desafios a serem enfrentados. Os anos 90 mostram avanços inegáveis que representam um importante ponto de inflexão nas características estruturais do sistema educacional brasileiro. No entanto, há múltiplos desafios que precisam ser superados.

Os argumentos que têm sido mais utilizados pelos responsáveis pela gestão das políticas educacionais estão, por um lado, associados à educação como direito do cidadão e condição para sua participação política e social e, por outro lado, têm enfatizado ser a educação condição para o desenvolvimento econômico e para a inserção do Brasil no grupo dos países desenvolvidos. Assim, segundo Oliveira (1997), a educação teria que, primeiramente, ser acessível a todos e ainda alcançar a qualidade capaz de responder às demandas decorrentes das transformações globais nas estruturas produtivas e do desenvolvimento tecnológico.

Estes argumentos estão vinculados à iniciativas que vêm sendo estimuladas pelo órgão gestor à âmbito nacional e se orientam para a visão de micro-sistemas educacionais, transferindo responsabilidades e esperando iniciativas de setores estaduais, regionais e mesmo municipais (Sampaio et al,1987; Souza,1993). Este encaminhamento se revela estimulador da competição entre sistemas escolares regionais, responsabilizando-os, individualmente, pela qualidade do ensino e re-situa o compromisso do poder público com seus deveres, no sentido de garantir a educação eficiente a todos.

Neste contexto a escola é cada vez mais responsabilizada pela construção do sucesso escolar, o qual está vinculado à uma administração, que para atender às necessidades dos estudantes, num mundo em constante mudança, precisa apresentar novos caminhos e técnicas para a solução dos problemas.

A elaboração de políticas e escolha de projetos para o setor público são normalmente orientadas pelo custo social dos recursos utilizados e, conseqüentemente, dos produtos gerados. No entanto, nos sistemas escolares, as características são bastante específicas. O produto gerado, neste caso, é o preparo do aluno para o exercício da cidadania e sua formação geral e profissionalizante.

Em decorrência desta realidade o planejamento de sistemas educacionais, inclusive a nível regional, se impõe como recurso de organização, sistematização e controle dos resultados, tornando-se indispensável à condução de ações sistemáticas inerentes ao sistema. Através de um bom planejamento pode-se detectar e diagnosticar os problemas existentes, desenhar cenários de evolução, avaliar decisões alternativas, estruturar programas de intervenção, antecipar dificuldades e desafios futuros. Deste modo, os sistemas educacionais têm se transformado em objeto de estudo científico através das mais variadas abordagens e metodologias (Felderer,1975; Tewari e Jena,1987; Tavares,1991; Bastos,1994; Bastos¹,1994; Lankford et al,1995; Caldwell, 1996).

Tendo em vista a complexidade e a grande variedade de variáveis envolvidas nestes sistemas, é adequado que os estudos estejam direcionados ao planejamento das ações voltadas à segmentos específicos do sistema educacional.

Um segmento do sistema educacional que tem merecido considerável atenção dos pesquisadores, face às necessidades demonstradas pelos planejadores e administradores destes sistemas, é a localização dos estabelecimentos escolares no espaço urbano e a alocação dos estudantes aos mesmos (Ferland e Guénette, 1990; Dias Coelho,1989; Pizzolatto e Silva,1993; Pizzolatto e Silva,1996).

Na literatura, em geral, os modelos matemáticos aplicados a este tipo de problema se ocupam em suprir a população de uma dada área geográfica a partir da localização e da capacidade das unidades, alocando os usuários à unidade mais próxima de sua residência.

No entanto, existem estudos bastante atuais analisando o comportamento dos usuários em relação à escolha da unidade escolar a ser freqüentada (Lankford et al, 1995; Caldwell, 1996). Estes estudos observam que a opção dos estudantes pela escola está relacionada, muito mais, com aspectos qualitativos da escola e com as opções de transporte disponíveis do que com a distância propriamente dita.

Deste modo, torna-se necessária uma modelagem para o problema que permita incorporar uma medida de separação espacial entre o estudante e a escola que deseja freqüentar, bem como, um fator associado às características desta escola. Com este objetivo serão introduzidos os modelos de interação espacial.

Entre os modelos de interação espacial os que fornecem uma descrição bastante completa sobre o processo de circulação das pessoas são os modelos gravitacionais de oportunidades (Wills,1986; Gonçalves,1992; Gonçalves e Ulysséia Neto,1993; Roy, 1993; Diplock e Openshaw,1996; Openshaw e Openshaw,1997). Estes permitem que separação espacial e a impedância associada às oportunidades que se interpõe entre uma zona de origem e uma escola de destino, sejam utilizadas como fatores complementares na determinação dos fluxos entre uma zona de origem e uma escola de destino.

No entanto, os deslocamentos dos usuários, especialmente em áreas urbanas, estão associados também a aspectos comportamentais dos indivíduos (Morris et al, 1979).

Neste sentido, o presente estudo visa incorporar aspectos comportamentais dos usuários de sistemas escolares em um modelo gravitacional de oportunidades, o qual será utilizado na análise da distribuição espacial das escolas.

Assim, convém levar em consideração que, se por um lado o sistema educacional compreende grande número de variáveis, os consumidores deste serviço também não são iguais entre si.

Estes se diferenciam em relação a diversas características, como por exemplo: a renda, a faixa etária e o sexo, a estrutura familiar, a atividade profissional, e mesmo quanto a própria expectativa em relação à qualidade do sistema escolar e a posterior satisfação com a mesma. Logo, em função destas diferenças, observa-se um comportamento diferenciado e, preferências variadas em relação ao sistema escolar, por parte dos usuários.

A incorporação destas preferências particulares dos indivíduos nos objetivos contemplados pelas propostas para sistemas escolares, é uma área que merece ser investigada.

As técnicas mais presentes na literatura que envolvem as preferências dos indivíduos e estimam seu comportamento através de modelos matemáticos, são as técnicas de preferência declarada (Senna,1992; Novaes,1995; Novaes et al,1996; Bastos,1994; Constantino,1997; Carvalho,1993; Freitas,1995). Neste trabalho utilizamos estas técnicas para inserir no modelo gravitacional de oportunidades, fatores comportamentais associados às preferências dos usuários em relação aos atributos das escolas de um sistema educacional, interagindo modelo de escolha discreta com o modelo de interação espacial.

Uma relação importante que se estabelece entre o sistema educacional e a sociedade diz respeito à utilização deste pelos variados níveis e grupos sociais que compõe a sociedade. As idéias de progresso técnico e equidade aparecem como termos dependentes nas diferentes propostas oriundas de pessoas ou instituições para o sistema escolar. O plano para o setor da educação elaborado pelo MERCOSUL (Acordo de Constituição de um Mercado Comum) também analisa esta questão e propõe que os países envolvidos (Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai) elaborem seus planos visando a oferta das mesmas oportunidades educacionais aos integrantes de todos os setores e espaços sociais. (Lémez et al, 1996).

Neste contexto, a análise da questão do nível de acessibilidade alcançado pelos diferentes grupos de usuários é uma questão que, embora suscite decisões variadas, precisa ser levada em consideração pelos planejadores dos sistemas e deste modo, ser incluída nos processos de planejamento.

Os esforços de desenvolvimento de indicadores para medir a acessibilidade dos usuários em relação às oportunidades urbanas estão fundamentados, essencialmente, em duas linhas de pesquisa.

Uma primeira linha, sugerida por Shimble em 1953 (ver Pooler, 1995) onde é levado em conta apenas a separação espacial entre a origem e o destino. Uma segunda linha, introduzida por Hansen em 1959, (Hansen, 1959) onde, além da separação espacial são incorporados fatores relativos às atividades urbanas. No entanto, alguns enfoques alternativos, envolvendo uma dimensão comportamental têm sido investigados (Morris et al, 1979; Burns, 1979; Arruda, 1998).

Neste trabalho, o conceito de acessibilidade é vinculado à avaliação das facilidades de acesso dos diferentes grupos populacionais às atividades urbanas, medindo a intensidade das barreiras que se colocam entre a origem do usuário e as atividades de destino.

O enfoque que será usado para o desenvolvimento de um novo indicador de acessibilidade está voltado à possibilidade de integrar, aos modelos convencionais, um parâmetro relativo ao comportamento dos usuários quando de suas viagens por motivo escola. Deste modo permite uma análise da questão da equidade no acesso dos estudantes às escolas, levando em consideração interesses dos próprios estudantes.

No contexto destas colocações iniciais, este trabalho está voltado à elaboração de uma sistemática para análise de sistemas educacionais, onde preferências da população possam ser incorporadas no planejamento, levando em consideração características das escolas que sejam relevantes para os estudantes, bem como projetar uma distribuição espacial das escolas proporcionando equidade no acesso dos estudantes às mesmas.

1.2 - Objetivos do trabalho

O objetivo principal deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma metodologia para a análise locacional de sistemas escolares em cidades de médio porte. É realizada uma integração entre um modelo de interação espacial e um modelo de escolha discreta, permitindo incorporar aspectos comportamentais dos usuários nesta análise, através da definição das oportunidades

intervenientes. A determinação dos níveis de acessibilidade dos diferentes grupos populacionais permite investigar a questão da equidade no acesso às escolas do sistema em estudo.

Deste modo, o que se pretende é que a metodologia possa servir como instrumento auxiliar na tomada de decisão dos administradores de sistemas escolares, permitindo ao gestor analisar alternativas de ação, simulando diversas situações para o sistema e, estabelecer mudanças para a superação de insuficiências encontradas.

Visando desenvolver esta metodologia seguindo a ótica apresentada na motivação descrita na seção 1.1, o trabalho tem objetivos específicos a cumprir:

- Incorporar aspectos comportamentais dos indivíduos em um modelo de interação espacial através de uma definição adequada das oportunidades intervenientes.
- Quantificar a utilidade relativa que cada escola do sistema escolar tem para os diferentes grupos de usuários. O valor desta utilidade é obtido através de uma função utilidade ajustada por técnicas de preferência declarada.
- Determinar um critério para a definição das oportunidades intervenientes associado ao valor da função utilidade, viabilizando a incorporação de aspectos comportamentais dos indivíduos no modelo.
- Definir um indicador de acessibilidade para medir o nível de acessibilidade dos diferentes grupos de usuários. Esta medida de acessibilidade deve incorporar um fator de separação espacial e também a impedância não espacial, associada às oportunidades intervenientes entre a residência do usuário e a escola de destino.
- Mostrar a aplicabilidade da metodologia proposta para a sugestão de estratégias de planejamento no sistema escolar.
- Realizar uma aplicação prática da metodologia para o sistema escolar das escolas públicas de nível médio na cidade de Londrina - PR.

1.3 - Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em 9 capítulos.

O Capítulo 1 consiste na introdução do trabalho, apresentando uma motivação para o estudo e os objetivos do mesmo.

No Capítulo 2 abordamos os sistemas educacionais. Sua importância para a sociedade, a complexidade de suas variáveis e a questão do planejamento nestes sistemas são alguns dos enfoques. Tratamos também da utilização de modelos matemáticos na elaboração de propostas para os sistemas educacionais e citamos trabalhos importantes que constam na literatura.

No Capítulo 3 são tratados, inicialmente, os problemas de localização em geral. A seguir, levando em consideração características do sistema em estudo, observa-se que os modelos de interação espacial podem ser adequados para estes sistemas. Deste modo, é realizada uma revisão bibliográfica destes modelos e suas aplicações. A relação com o conceito de entropia e um enfoque microeconômico de modelos de interação espacial também são assuntos abordados neste capítulo.

No Capítulo 4 são apresentados conceitos fundamentais sobre Técnicas de Preferência Declarada, uma vez que, neste trabalho, utilizamos estas técnicas para definir as oportunidades intervenientes entre as zonas de origem e zonas de destino levadas em conta pelo modelo gravitacional de oportunidades já apresentado no Capítulo 3.

No Capítulo 5 abordamos a questão da acessibilidade, apresentando a evolução percebida na conceituação e no desenvolvimento de indicadores para medir a acessibilidade dos indivíduos às atividades urbanas.

No Capítulo 6 é apresentada a metodologia proposta para a análise locacional de escolas, usando um modelo gravitacional de oportunidades, onde as oportunidades intervenientes são definidas usando uma função utilidade ajustada por técnicas de Preferência Declarada. O indicador de acessibilidade utilizado também é desenvolvido neste Capítulo, bem como a definição de algumas estratégias de planejamento viáveis para os sistemas educacionais.

No Capítulo 7 descrevemos uma aplicação da metodologia proposta onde a área de estudo é a cidade de Londrina- PR, e o objeto de análise são as escolas públicas de ensino médio.

No Capítulo 8 apresentamos uma análise do desempenho dos modelos matemáticos usados na metodologia.

O Capítulo 9 consiste na conclusão do trabalho, algumas contribuições que o estudo proporciona para a área científica na qual está inserido e, são propostas algumas sugestões que poderão ser enfocadas em trabalhos posteriores, segundo a visão da autora.

Finalmente, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho e citadas no mesmo.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS EDUCACIONAIS

2.1 - Introdução

Sistemas educacionais são, em geral, estruturas complexas e abrangentes, variáveis no tempo e no espaço. Dependem diretamente das condições sociais, culturais, econômicas e políticas de cada sociedade. Esta complexidade, decorrente da natureza interconexa dos seus objetivos e da diversidade de atores e recursos, cuja interação é essencial ao bom funcionamento do sistema, tem transformado os mesmos em objeto de estudo científico através de variadas abordagens e metodologias.

Compreende-se atualmente a importância de estudar não só a estática, mas a dinâmica destes sistemas, procurando analisar a sua evolução e desenhar as estratégias de transformação mais apropriadas. O processo de evolução constante que permeia não só os países desenvolvidos mas também as nações em desenvolvimento, requer políticas educacionais adaptadas aos grandes desafios resultantes desta evolução. Neste contexto, a educação escolar é uma prática que objetiva dar condições para que todos os alunos desenvolvam suas capacidades, apropriando-se dos conceitos necessários para construir instrumentos de compreensão da realidade e, para interagirem efetivamente com o meio em que vivem, contribuindo para a transformação da sociedade.

Os estabelecimentos escolares desempenham na sociedade o papel de reprodução das relações ou das contradições verificadas no contexto social em que se insere o sistema educacional. É a escola que desempenha um caráter estratégico dentro de uma sociedade organizada. A partir dela é possível difundir uma ideologia dominante ou introduzir uma nova cultura a outras gerações. Ela representa uma garantia de acesso ao saber elaborado socialmente, sendo este um instrumento para o progresso, a socialização e o exercício da cidadania.

Tendo em vista este importante papel que a escola ocupa na sociedade vamos, neste capítulo, abordar a questão do planejamento nos sistemas escolares, apresentar alguns aspectos relevantes para o uso de métodos matemáticos na análise destes sistemas e fazer algumas considerações sobre a educação escolar do ponto de vista social e econômico.

2.2 - Planejamento e sistemas educacionais

Embora não se possa considerar que a sociedade humana tenha sido estática por muito tempo, a verdade é que em nenhuma outra época experimentou um desenvolvimento científico e tecnológico como nas últimas décadas. Nos últimos anos, em comparação com o que ocorreu desde o homem primitivo até os nossos dias, verifica-se uma vertiginosa e fulminante aceleração no processo de desenvolvimento mundial. Essa rápida transformação social, evidentemente, passou a exigir uma intensificação das relações humanas, aumento de atividade e necessidade de maiores conhecimentos em todas as áreas.

Em decorrência dessa realidade, característica do mundo atual, o homem tem se esforçado para melhor adaptar-se ao seu semelhante e interagir de maneira mais rápida com o contexto social em que vive. Pelo estudo cada vez mais aprofundado dessa realidade, o homem tem procurado amenizar tensões, conflitos e antagonismos e favorecer a participação e a colaboração.

Para melhor corresponder a imperativos do momento atual e compreender a vida em sociedade, o homem pode utilizar-se da reflexão e do planejamento. Pela reflexão desenvolve níveis cada vez mais aprimorados de discernimento, compreensão e julgamento da realidade, favorecendo assim, a conduta inteligente em situações novas de vida. Pelo planejamento, o homem organiza-se e disciplina a sua ação, partindo sempre para realizações mais complexas e requintadas.

Neste contexto pode-se definir o planejamento como sendo um processo, através do qual, uma pessoa ou um grupo delas, racionaliza uma ação explicitando seus objetivos e os melhores meios para atingi-los dentro de um prazo pré determinado.

Embora as atividades humanas sejam, de alguma forma, planejadas, o planejamento social é inerente ao estado, considerando que busca atender às demandas sociais, que não podem ser identificadas apenas pelas informações transmitidas pelo mercado, com recursos gerados independentemente da prestação de serviços e utilizando organizações burocráticas sem fins lucrativos. Desta forma, o planejamento define prioridades, estabelece critérios e mecanismos, aloca os recursos e busca uma relação de eficiência entre os insumos e os resultados das ações previstas. Neste sentido, o planejamento é compatível com qualquer tipo de regime (unitário/federativo) ou de organização de governo (centralizado/descentralizado) e pode ser de grande utilidade no setor educacional.

No âmbito da educação, é fundamental a compreensão de que o processo de planejamento tem seu sentido maior quando se converte em ações que aproximam a situação atual daquela considerada adequada ao momento e às características da sociedade em que o sistema educacional está inserido.

Um sistema educacional compreende o conjunto de meios educacionais submetidos às mesmas políticas e regulamentações e que atua sobre um espaço físico determinado (Arantes, 1986). Trata-se pois de um conceito vasto que abrange todas as iniciativas usadas pela sociedade visando a formação integral dos indivíduos. As ações são concebidas, financiadas e desenvolvidas pela própria sociedade, fornecendo em retorno, progresso humano, ético e cultural, bem como uma bagagem de conhecimentos indispensáveis à vida social e econômica e, também aptidões para o desempenho profissional. Por outro lado, a educação é um setor econômico importante, considerando a fração elevada de despesas públicas e privadas que absorve, a geração de empregos de que é responsável e os efeitos intersetoriais que acarreta.

O desenvolvimento destas ações de ensino exige a disponibilidade de recursos importantes, quer humanos, financeiros, físicos, ou tecnológicos. A integração das diversas componentes que orientam estas ações e a administração destes recursos não ocorre espontaneamente. É importante prever e projetar as transformações e necessidades do sistema através do planejamento. No entanto, esta não é uma atividade apenas técnica, mas envolve questões políticas, administrativas e também elementos associados ao comportamento dos indivíduos. Segundo Bastos (1994), qualquer plano tem que ser tecnicamente consistente,

administrativamente adequado e politicamente viável. Além disso, os interesses da sociedade devem ser contemplados neste plano.

Muito embora a idéia de planejar seja bastante antiga, e sempre estivesse ligada às ações do homem ao longo da maior parte de sua existência, o planejamento, na área educacional, passou a ter um papel normativo somente no presente século.

Segundo Portes (1990), foi no século XX que as primeiras experiências com o planejamento governamental e educacional surgiram na União Soviética, em 1917, e nos países europeus após a segunda guerra mundial. No entanto, foi a partir da década de 50, após uma série de Conferências Internacionais promovidas pela UNESCO, que o planejamento educacional foi sistematizado como processo e introduzido nos países subdesenvolvidos.

No Brasil, o planejamento no setor educacional começa a ser introduzido também por volta dos anos 50, e de forma mais definitiva na década de 60, por influências internacionais emanadas dos contatos e acordos estabelecidos entre o Ministério da Educação e Cultura (MEC) e algumas organizações internacionais.

Os primeiros modelos de planejamento tinham objetivos primordialmente quantitativos associados, em geral, à oferta de vagas para atender à demanda. Este objetivos eram expressos em metas e eram altamente agregados, havendo uma preocupação insuficiente com a sua implementação, necessariamente desagregada, através das instâncias administrativas e dos programas. Neste sentido, os planos eram operacionais, pois deixavam de contemplar a articulação entre os diferentes níveis administrativos. Com ênfase na expansão quantitativa, apenas o mapeamento escolar representava um método que possibilitava a desagregação, no caso, a construção das escolas, definindo a sua localização. Preocupações com a melhoria qualitativa eram limitadas, e o interesse em conhecer a satisfação da população em relação ao funcionamento do sistema ou estabelecer critérios de equidade era inexistente.

Nos tempos atuais, a definição de estratégias de planejamento para a educação escolar é vista como um processo dinâmico e interativo, visando planejar a educação a fim de atender de

modo eficiente às justas reivindicações do sistema social e, simultaneamente, oferecer subsídios eficazes à correção das distorções evidenciadas no mesmo.

Assim, o planejamento da educação escolar, em seus diversos níveis, visa metas importantes, tais como:

- assegurar uma educação de base científica e tecnológica que atenda às exigências técnicas e sócio - econômicas regionais;
- garantir a aplicação eficaz dos recursos colocados à disposição;
- organizar a rede escolar de forma a propiciar bons níveis de acessibilidade considerando as evoluções demográficas, sociais e econômicas;
- criar condições de acesso, que ofereçam funcionalidade, segurança e sejam economicamente viáveis;
- prever os investimentos necessários em prazos determinados a fim de garantir a qualidade desejável;
- estruturar propostas de intervenção na rede escolar;

No entanto, a implementação de uma sistemática de planejamento para a educação escolar tem várias limitações. Alguns problemas enfrentados pelos planejadores do setor estão relacionados com:

- a profunda interdependência que existe entre todos os fatores e recursos inerentes ao processo de ensino;
- a perda da capacidade de investimento dos governos federal, estadual e municipal e a sua restrição nos recursos orçamentários destinados aos serviços sociais como educação e saúde;
- os procedimentos de instalação de unidades escolares, que segundo Pizzolato e Silva (1993), estão longe de ser adequados, pois “há comunidades que não conseguem ser ouvidas e sequer se expressam, tendendo a serem completamente ignoradas; no entanto há outras que, por incorreta avaliação das relações espaciais, podem ser generosamente atendidas, pleiteando escolas que virão a ter capacidades ociosas”;
- o caráter variado das ações de ensino que dependem muito da criatividade e das características dos seus autores;

- as dificuldades na definição de políticas, na priorização de programas que assegurem padrões de eficiência e acessibilidade;
- a procura por determinada qualificação, devido as condições impostas pelo mercado em relação a mão de obra;
- a falta de informações sistemáticas e confiáveis sobre a realidade dos sistemas escolares e os meios de tratamento destas informações;

Tendo em vista esta problemática, Gandin (1997) observa que para ser eficaz o planejamento educacional deve levar em consideração aspectos teóricos bem como um profundo conhecimento da realidade. Esta interação leva a uma proposta de ação e sua posterior implementação. A Figura 2.1 esquematiza esta situação.

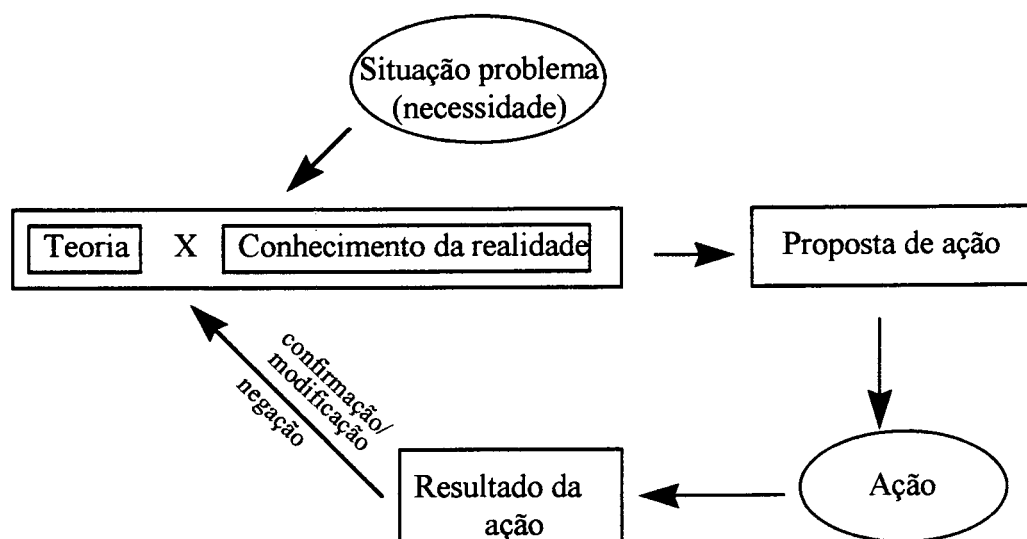


Figura 2.1 - Fases do planejamento

É fundamental que haja uma ação. Tão fundamental quanto a utilização da teoria e o conhecimento da realidade. É neste quadro que uma ação tem possibilidades de ser eficaz e seus impactos sobre o sistema podem ser avaliados.

Na realidade brasileira, segundo Souza (1993), o planejamento educacional parece ter definido algumas ações importantes e, deste modo ajustar-se em algumas direções: funções executivas passariam a ser exercidas somente pelos estados e municípios enquanto que ao MEC (Ministério da Educação e Cultura) caberia transferir recursos de acordo com critérios que

refletissem preocupações redistributivas regionais; a percepção crescente de que apenas a definição de sistemas de informação, principalmente estaduais, acoplados ao sistema nacional de avaliação das escolas, a cargo do MEC, poderá dar indicações mais precisas das intervenções necessárias para a melhoria da qualidade do ensino; maior flexibilidade institucional, capaz de dar respostas mais ágeis para os problemas emergentes; a definição de padrões de eficiência e equidade, sem fazer distinções entre regiões geográficas.

O que se observa é que a gestão de sistemas escolares é, efetivamente, uma prática englobando iniciativas, processos e organizações muito variadas, no entanto, estreitamente relacionadas com a comunidade onde se integram. É portanto de extrema importância estudar os meios utilizáveis para analisar os sistemas educacionais. Com este objetivo diversos modelos têm sido propostos e utilizados para descrever estes sistemas.

2.3 - Modelos matemáticos e sistemas educacionais

A aplicação de métodos científicos ao estudo de problemas das Ciências Sociais, Econômicas e Organizacionais exige cada vez mais uma abordagem baseada em modelos apropriados às realidades em análise e aos objetivos do estudo.

Encontram-se na literatura várias definições, levemente diferenciadas, para um modelo. De forma geral, entende-se por modelo uma representação do segmento real em estudo que é elaborada segundo regras explícitas baseadas nos objetivos admitidos para o estudo. Ou seja, modelo é uma descrição, cuja construção é explicável, e que deve representar o sistema real considerado, levando em consideração os níveis de rigor e precisão pretendidos (Tavares, 1991). Assim entende-se por modelagem a atividade de elaboração de modelos e o correspondente domínio científico.

Uma fonte considerada privilegiada na inspiração e formulação de modelos é a Teoria dos Sistemas (Lazlo, 1983). Através destes estudos define-se uma representação matemática geral para modelo onde as principais grandezas são:

vec - representa um conjunto de variáveis de entrada controláveis pelo decisor; é um vetor cujas componentes são conhecidas também como variáveis explicativas ou “inputs”;

ven - representa um conjunto de variáveis de entrada não controláveis pelo decisor; também são “inputs”;

VS - representa o conjunto de variáveis de saída, ou seja, são os resultados fornecidos pelo modelo, e portanto, descreve a resposta do sistema; é um vetor cujas componentes são as variáveis dependentes conhecidas como “outputs”;

g - é uma relação funcional entre as variáveis dependentes e independentes, ou seja, é a relação solicitação - resposta;

I - informação que alimenta o decisor sobre a resposta do sistema.

A relação entre as variáveis pode ser descrita por:

$$VS = g(vec, ven)$$

A Figura 2.2 é uma representação geral para um modelo usando estas variáveis.

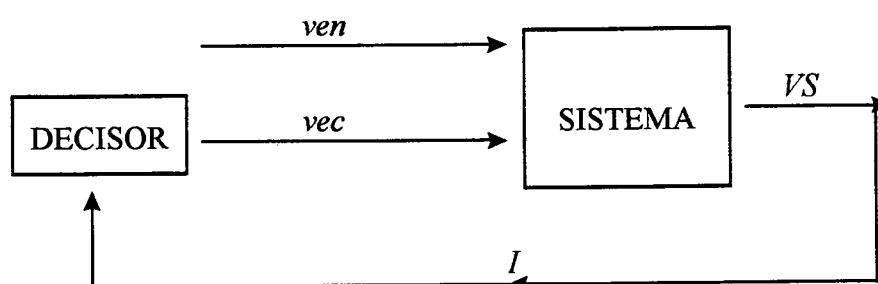


Figura 2.2 Modelo geral
Fonte: Lazlo (1983) (adaptação)

Em geral a interação do modelo com a realidade do segmento real em estudo dá-se em dois sentidos: do mundo real para o modelo e do modelo para o mundo real. Rodrigues e Dantas, (1983) definem esta interação através de:

- abstrações e informações: do mundo real para o modelo;
- ações: do modelo para o mundo real;

No entanto, Gonçalves (1992) observa que é muito importante considerar também as simplificações do mundo real para o sistema. Estas, sem dúvida se tornam necessárias quando

se representa um fenômeno real através de um modelo pois, Albert Einstein já dizia: “Na medida em que as leis da matemática refletem a realidade, elas não são exatas. Na medida em que elas são exatas não refletem a realidade”. Neste sentido, é importante lembrar que a modelagem requer um processo de autocrítica constante. Torna-se necessário verificar a cada passo, a verossimilhança do modelo em contraposição à realidade a ser representada (Novaes, 1981).

Um sistema educacional destina-se basicamente à formação e ao desenvolvimento dos indivíduos da sociedade. Portanto qualquer modelo utilizado para descrevê-lo deve se basear numa relação adequada entre a sociedade e recursos humanos, físicos e tecnológicos provenientes desta própria sociedade. Os ciclos de produção e consumo destes recursos são o objeto de modelos para sistemas educacionais. Um modelo geral para um sistema educacional foi apresentado por Tavares (1991). Fazendo algumas adaptações a este modelo, apresentamos na Figura 2.3 uma configuração das diversas relações existentes entre os diferentes elementos que compõe um sistema educacional. Usamos a notação:

RF = recursos físicos; RT = recursos tecnológicos; RH = recursos humanos;

As numerações de 1 a 12 representam os fluxos:

- 1 - entrada de alunos no sistema educacional;
- 2 - candidatos ao sistema educacional que por alguma razão não entram no sistema;
- 3 - fluxo de recursos físicos destinados ao sistema educacional;
- 4 - fluxo de recursos tecnológicos destinados ao sistema educacional;
- 5 - fluxo de recursos humanos da sociedade destinados ao sistema educacional;
- 6 - recursos físicos necessários para o desenvolvimento de recursos tecnológicos;
- 7 - recursos tecnológicos utilizados no aperfeiçoamento dos recursos humanos;
- 8 - alunos que saem do sistema educacional e obtiveram o aproveitamento esperado pela sociedade;
- 9 - saída de alunos do sistema educacional com aproveitamento e que vão alimentar os recursos humanos do próprio sistema;
- 10 - alunos que saem do sistema educacional sem atingir o aproveitamento esperado pela sociedade;
- 11 - informações sobre o sistema educacional que irão influenciar os decisores;
- 12 - influências dos decisores sobre o sistema educacional;

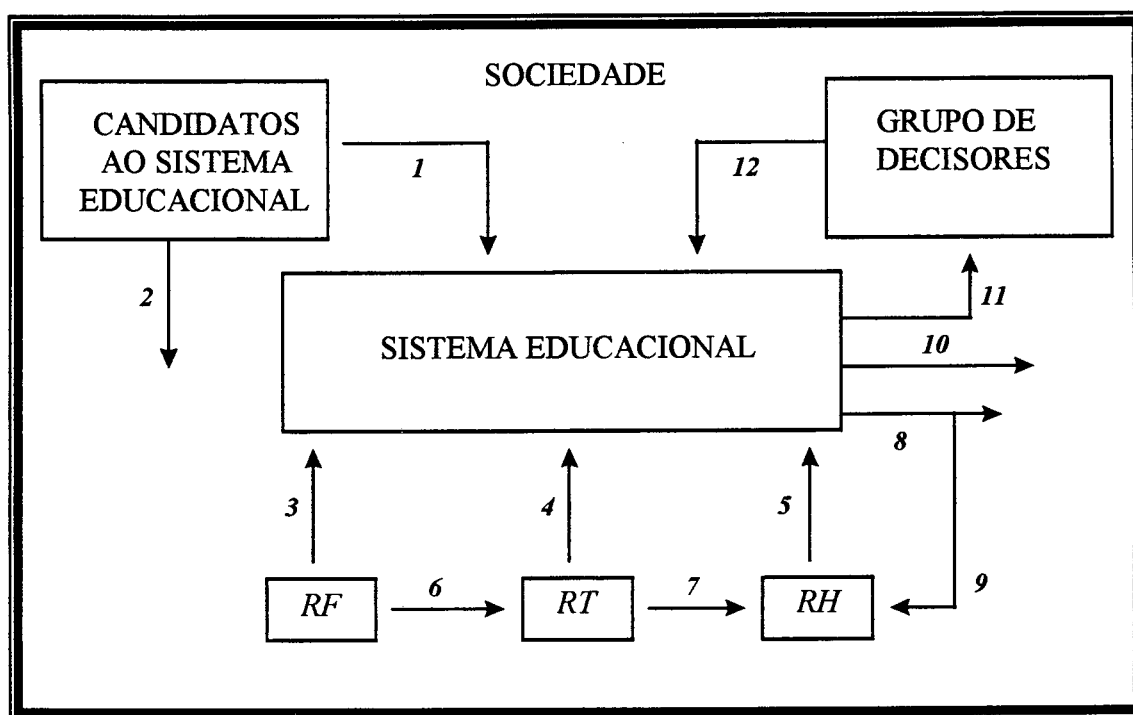


Figura 2.3 - Modelo geral para um sistema educacional

Adaptação do modelo de Tavares (1991)

A interação entre os fluxos 11 e 12, responsável pela troca eficiente de informações, incorporando as expectativas e necessidades da sociedade, é capaz de influenciar de forma acentuada o sistema educacional. Apoiados nos resultados dos demais fluxos, este intercâmbio de informações pode estabelecer regras para interferir na qualidade e eficiência do sistema bem como proporcionar garantias de acesso e equidade aos diferentes grupos da sociedade.

No entanto, o elevado número de componentes e linhas de ação que podem ser identificados dentro de um sistema educacional, impõe uma gama elevada de desafios à seus administradores. Naturalmente, as tentativas de superá-los, na prática, não podem ser especificadas a partir de um modelo do tipo apresentado na Figura 2.3. Este é muito amplo e não permite uma análise eficaz das diversas variáveis envolvidas. O que se faz então são modelagens pormenorizadas a fim de esclarecer e analisar o funcionamento de segmentos específicos do sistema.

Neste contexto os pesquisadores têm estudado estes sistemas, tanto à nível filosófico quanto na elaboração de novas metodologias, analisando aspectos qualitativos e quantitativos. Através das análises qualitativas procura-se verificar o desempenho do sistema quanto aos níveis de

satisfação esperados. Nas análises quantitativas o objetivo consiste em quantificar numericamente algumas variáveis para o grupo de decisores.

Os diversos elementos que compõe um modelo geral para um sistema educacional, abrangem, em várias situações, determinantes do comportamento dos indivíduos envolvidos e a sua influência sobre o funcionamento do sistema. Deste modo, incorporando um fator comportamental no processo de modelagem, pode-se encontrar soluções mais próximas da realidade social em que o sistema está inserido.

No contexto de análises da realidade social, a gestão das escolas públicas é um tema que tem sido bastante abordado pelos pesquisadores, tanto à nível de análises pedagógicas, políticas ou sociais quanto à nível técnico, econômico e operacional, visando melhorar o planejamento das redes escolares em seus diversos níveis. As escolas, embora inseridas no sistema maior regido pelos estados da União, no caso brasileiro, são unidades com vida própria e seus projetos e suas dinâmicas devem ser desenvolvidas tendo relação estreita com as comunidades onde estão inseridas. O seu gerenciamento requer um leque amplo de capacidades administrativas para gerir meios humanos e materiais e estabelecer as estratégias de intervenção fundamentadas em estudos apropriados. A literatura consta de diversas abordagens dadas à utilização de modelos matemáticos na análise de redes escolares (Bastos,1994; Bastos¹,1994; Dias Coelho, 1989; Pizzolato e Silva, 1996).

Nos estudos de planejamento para sistemas escolares, a localização e o dimensionamento dos estabelecimentos é de grande importância, tendo em vista o elevado volume de recursos que consome e a necessidade de atender, de forma satisfatória, a uma fração significativa da população. Inúmeros são os estudos que tratam a questão, com objetivos e abordagens diversificadas. Entre estes citamos:

- Uma metodologia para planejar a localização de escolas foi desenvolvida por Pizzolato e Silva, (1993), onde avalia a distribuição espacial e a capacidade ofertada das mesmas. Eles partem do princípio de que o aluno deve optar pela escola mais próxima de sua residência, de forma que, a nível macroscópico, a localização ideal é aquela que minimiza as distâncias totais percorridas pelo conjunto de alunos. O método se mostrou eficaz para localizar escolas de nível básico nas áreas urbanas ou em vias de urbanização.

- Dias Coelho (1989), realiza um estudo sobre a localização de escolas de 2º grau na região do Algarve - Portugal. O problema consiste em minimizar uma função de “custo social” englobando custos de instalação, funcionamento e transportes escolares. A função está sujeita às restrições de obrigatoriedade de escolarização, capacidade das escolas e a impossibilidade de fechar ou abrir escolas.
- Ferland e Guénette (1990), desenvolvem um sistema para realizar a alocação dos estudantes às escolas existentes, respeitando as restrições de capacidade, e alguns objetivos sociais como por exemplo, a alocação à escola mais próxima da residência. O sistema apresenta vários cenários e permite a análise dos mesmos por parte dos responsáveis pelos setores educacionais.
- A necessidade de, por um lado ver a educação como um investimento, e por outro lado, encará-la como um bem de consumo são fundamentações usadas por Felderer (1975), em seu estudo sobre a utilização dos recursos destinados ao setor educacional. Para Felderer, a educação pode ser considerada como um investimento se podemos assumir que a produtividade do estudante em seu trabalho cresce em função dos conhecimentos adquiridos e dos treinamentos recebidos na escola. A função objetivo do modelo desenvolvido consiste basicamente em minimizar a diferença entre a demanda, no mercado de trabalho, por mão de obra qualificada e, a oferta de serviços escolares que possam proporcionar esta qualificação exigida.

Embora sejam diversas as abordagens e as dinâmicas previstas, qualquer modelo destinado à análise da localização de escolas, especialmente públicas, e à alocação dos estudantes às mesmas, independente da metodologia que o fundamenta, deve ter seus objetivos relacionados com a garantia de que haverá, por parte do estado, provisão adequada às necessidades e preferências da população. Além disso, os meios e formas de acesso são fundamentais para garantir esta provisão aos diferentes grupos populacionais envolvidos. Com intuito de abordar esta questão fazemos algumas considerações sobre a acessibilidade nos sistemas educacionais.

2.4 - Acessibilidade nos sistemas educacionais

Uma das características essenciais do sistema escolar diz respeito ao acesso dos estudantes às escolas. Os seus usuários são, na maioria, jovens ou crianças que se integram em espaços

urbanos e rurais com estruturas de povoamento muito diversificadas, podendo ser desde as áreas de maior congestionamento urbano aos espaços mais rarefeitos de população.

Deste modo, a distribuição espacial destas escolas e as facilidades de deslocamento associadas à rede de transportes são aspectos que precisam ser levados em conta na análise das oportunidades de acesso dos estudantes às unidades escolares.

A preocupação de levar a escola até junto de cada jovem tem originado redes escolares muito distribuídas no espaço físico. Esta linha de ação está inserida em uma política de descentralização na administração pública, onde se pretende tornar competentes os pontos mais afastados do centro, ampliando suas áreas de atuação através de iniciativas próprias e locais (Sampaio et al,1987).

A tradição do planejamento escolar brasileiro recomenda uma distância residência-escola máxima na área urbana de 1500 metros e de 3000 metros na área rural. Por outro lado o tempo máximo que o aluno deve levar de sua residência à escola deve ser de 45 minutos na área rural e de 20 minutos na área urbana (Arantes,1986). No entanto, observamos que o tempo de viagem está relacionado com o modo de transporte utilizado e as características da rede. Assim podem ocorrer grandes variações de um sistema escolar para outro, levando em consideração o desempenho da rede de transporte disponível.

Visto sob esta ótica, a acessibilidade no sistema escolar está diretamente relacionada com o tempo de viagem atribuído aos estudantes em virtude da localização das escolas e da rede de transportes. Neste caso, a qualidade dos serviços de transporte e a definição de políticas de localização das escolas e alocação dos estudantes às mesmas desempenha um papel fundamental na definição do nível de acessibilidade dos diferentes grupos populacionais.

Uma relação importante que se estabelece entre o sistema escolar e a sociedade, diz respeito à extensão e à intensidade de utilização daquele pelos variados níveis e grupos sociais que compõem a sociedade.

A participação do jovem no sistema, especialmente a partir do final da escolaridade obrigatória, implica elevado nível de aspirações, motivação e confiança em si próprio, bem como os necessários apoios sociais e econômicos para poder prolongar a sua situação de elemento não diretamente produtivo na sociedade a que pertence. Podemos observar assim que a demanda no sistema escolar, especialmente a partir do nível médio, está diretamente vinculada a indicadores do meio familiar, onde os mais expressivos são o nível de instrução e a faixa de renda da família.

Este conjunto de condicionantes pode também ser um indicador de acessibilidade dentro de um sistema educacional (Tavares, 1991). Neste contexto, nas sociedades onde a educação é menos “valorizada” e, ou, as condições de vida são mais difíceis para importantes setores da população, os níveis de acessibilidade são, em geral, inferiores.

Em termos gerais, o nível de acessibilidade proporcionado aos usuários do sistema escolar está associado à diversos aspectos, entre os quais podemos citar: as características da rede de transportes, a localização das escolas, as principais características destas escolas e o comportamento dos usuários em relação a estas características. Por outro lado, não se pode ignorar as diferenças sociais e econômicas percebidas entre os diferentes grupos de usuários. Deste modo, é adequado que estes fatores sejam levados em conta no processo de planeamento para sistemas educacionais, especialmente no que se refere ao setor da educação escolar.

2.5 - Aspectos econômicos e sociais e a educação escolar

Partindo do princípio de que a educação escolar é um dos mais importantes instrumentos de promoção social e cultural de um povo, bem como um instrumento necessário para o pleno desenvolvimento da cidadania e da liberdade individual, seu desenvolvimento não pode ficar restrito às possibilidades econômicas. Entretanto, não podemos também ignorar as limitações impostas pela realidade do desenvolvimento econômico e material. Neste sentido, há uma lacuna entre o que é idealmente desejado e o que é realisticamente possível e necessário. Esta é decorrente, principalmente, da estreita relação que há entre a educação escolar e alguns aspectos da realidade econômica tais como a concentração de renda e crescimento da produção material.

O crescimento econômico e material brasileiro está baseado em um modelo excludente e concentrador de renda (Helene, 1994). Conseqüentemente, embora o Brasil apresente alguns indicadores que nos colocam próximo à média mundial, os contrastes internos fazem conviver, lado a lado, características de países ricos e de países muito pobres. O custo social destes contrastes é muito alto. Além disso, as crises econômicas se abatem mais marcadamente sobre os setores mais pauperizados. No entanto, quando a crise é superada por uma expansão econômica, esta favorece os setores mais aquinhoados.

Há uma importante relação entre a concentração de renda e a escolarização. A renda de um trabalhador depende de sua escolaridade. Por outro lado, o nível de escolarização atingido pela criança ou pelo jovem depende fortemente de sua renda familiar. Estes dois efeitos formam um ciclo vicioso perverso e acirram a concentração de renda, projetando-a para um futuro distante. Promover uma melhoria no sistema escolar de forma a atingir a totalidade da população independentemente da região geográfica, do sexo, da cor, da condição urbana ou rural, é indispensável para reverter o atual quadro da concentração de renda observado no Brasil.

A educação escolar é um instrumento de desenvolvimento social intimamente relacionado ao desenvolvimento econômico: não há como atingir um crescimento econômico longo e sustentável se não houver paralelamente uma melhoria no desempenho educacional; por outro lado, a melhoria do padrão de escolarização da população é, por si só, um fortíssimo instrumento do desenvolvimento econômico.

Uma forma utilizada para descrever a relação entre os desenvolvimentos econômico e escolar é através da análise do impacto econômico do investimento escolar. Segundo Helene (1994), em alguns países muito pobres, o retorno econômico do investimento em educação escolar pode chegar a 100% (isto quer dizer que, em um ano, um investimento na educação escolar provoca um aumento equivalente na produção econômica). Esta é a situação, por exemplo, do Botsuana e da Libéria no que diz respeito ao ensino de primeiro grau. Como regra geral, continua Helene, o retorno econômico de investimentos em educação escolar varia entre 10%, no ensino secundário e superior nos países mais desenvolvidos, e cerca de 25% a 30% no caso do ensino fundamental nos países mais atrasados em termos escolares. Índices bem menores

são observados em relação ao ensino superior. Estas taxas de retorno econômico dos investimentos em educação escolar competem, com vantagem, com as taxas de retorno de investimentos materiais (infra-estrutura, construção civil, máquinas e equipamentos).

Segundo relatório do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), os países da América Latina apresentam ainda sérias deficiências no que diz respeito à investimentos em educação, relatando que os gastos são, definitivamente, insuficientes. (Jornal Gazeta do Povo, setembro de 1998). No Brasil os gastos com educação estão por volta de 3,9% do PIB, enquanto na Suécia, por exemplo, este índice chega à 7,8%.

Mesmo assim, o panorama da educação brasileira apresentou significativa melhoria nas últimas décadas, com declínio acentuado da taxa de analfabetismo, expressivo aumento de matrículas em todos os níveis de ensino e gradual crescimento da escolaridade média da população. A constatação destes avanços, no entanto, não esconde a percepção dos desafios educacionais que o País ainda precisa vencer para superar o déficit histórico acumulado nesta área.

A eliminação do analfabetismo é, sem dúvida, o primeiro degrau a ser alcançado para a edificação de um sistema educacional integrador e indutor do desenvolvimento social e econômico. O que mantém o Brasil distante desta meta, neste final de século XX, é uma elevada taxa de analfabetismo de 15,6% entre a população de 15 anos ou mais. O impacto deste número só é minimizado quando se faz uma análise dentro de uma perspectiva da evolução destas taxas nas últimas três décadas (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Percentual de brasileiros analfabetos com 15 anos ou mais

Ano	Percentual	Ano	Percentual
1920	64,9	1970	33,6
1940	56	1980	23,5
1950	50,5	1991	20,1
1960	39,6	1996	15,6

Fonte: Castro (1998)

Um outro quadro que precisa ser revertido diz respeito à escolaridade média dos brasileiros. Nesta área, o Brasil se mantém numa posição bastante desfavorável se comparado com países desenvolvidos pertencentes à Organização Econômica para a Cooperação e o Desenvolvimento (OECD) (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Percentual da população e da PEA entre 25 e 64 anos por Nível de Escolaridade

Países	População de 25 a 64 anos			PEA de 25 a 64 anos		
	Fundamental	Médio	Superior	Fundamental	Médio	Superior
Brasil	75	16	9	72	17	11
Canadá	25	28	47	19	29	52
Estados Unidos	14	53	33	11	52	37
França	32	50	18	25	54	21
Alemanha	16	61	23	12	62	26
Itália	65	27	8	56	33	11
Portugal	80	9	11	76	10	14
Espanha	72	12	16	64	15	21
Suíça	18	61	21	15	61	24
Turquia	77	15	8	76	15	9
Média OECD	40	40	20	35	42	23

Fonte: Castro (1998)

Obs. Dados do Brasil se referem ao ano de 1996. Dados dos países da OECD se referem ao ano de 1995
PEA- População Economicamente Ativa

Embora o Brasil ainda esteja bem longe, em termos de níveis de escolaridade, dos países mais desenvolvidos, pode ser observada uma acelerada expansão do sistema educacional brasileiro durante os últimos 30 anos. Esta pode ser percebida pelo vigoroso crescimento do número de matrículas em todos os níveis de ensino. Segundo Castro (1998), dentre os fatores que contribuíram para impulsionar este processo, além da natural pressão demográfica, cabe destacar a forte demanda por serviços educacionais criada em decorrência da rápida urbanização do país e o correspondente esforço realizado pelo Poder Público para expandir o acesso à escolaridade obrigatória.

O Brasil tem hoje algo em torno de 51 milhões de estudantes, considerando todos os níveis e modalidades da educação básica (Pré-escola, Ensino Fundamental, Ensino Médio, Educação Especial e cursos presenciais de Educação de Jovens e Adultos). Se somarmos as matrículas do ensino superior e pós-graduação, este contingente ultrapassa 53 milhões de estudantes, o que corresponde a cerca de um terço da população. Em três décadas, o sistema educacional brasileiro mais do que triplicou o seu tamanho. Trata-se, portanto, de um sistema de massa, exigindo vultosos investimentos do setor público, que, segundo relatórios do MEC referentes ao ano de 1997 e 1998, responde por 89,3% das matrículas do ensino fundamental, 80,2% das matrículas do ensino médio e 38,5% do ensino superior.

A rede privada, ao contrário, vem reduzindo a sua participação relativa na oferta de matrículas. Este fenômeno foi particularmente intenso na última década, e, no momento atual é enfoque de interesse de muitas pesquisas. Com efeito, a proporção dos alunos do ensino médio que frequentam escolas particulares caiu de 46,5% em 1980 para 19,8% em 1997 (Castro, 1998).

Um fenômeno educacional importante observado no Brasil na década de 90 tem sido a velocidade com que vem se dando a expansão do ensino médio, caracterizando esta como sendo a década da democratização do acesso a este nível de ensino.

De fato, no período de 1990 a 1998, a matrícula neste nível praticamente dobrou, saltando de 3,5 milhões de alunos para aproximadamente 6,9 milhões, segundo aponta o resultado preliminar do Censo Escolar do ano de 1999. Mas, o ensino médio dá sinais de que deve se expandir ainda mais nos próximos anos, considerando que menos de 30% da população da faixa etária entre 15 e 17 anos encontra-se atualmente matriculada, o que coloca o Brasil bem abaixo de países mais desenvolvidos.

Isto demonstra que a evolução escolar brasileira, não pode se caracterizar por momentos efêmeros, mas precisa ser uma constante para aproximar-nos das nações desenvolvidas. A Figura 2.4 mostra a evolução da taxa de matrícula no ensino secundário nos países ricos e países intermediários, destacando o Brasil. No ano 2000 praticamente todos os jovens dos países desenvolvidos terão acesso ao ensino de nível médio; nos países intermediários (nos quais se inclui o Brasil em renda per capita) este índice deve chegar à 78%. No entanto, o

Brasil deverá terminar a década sem conseguir que metade de seus jovens freqüentem o ensino de segundo grau, um índice muito inferior ao de países com semelhantes possibilidades e necessidades econômicas.

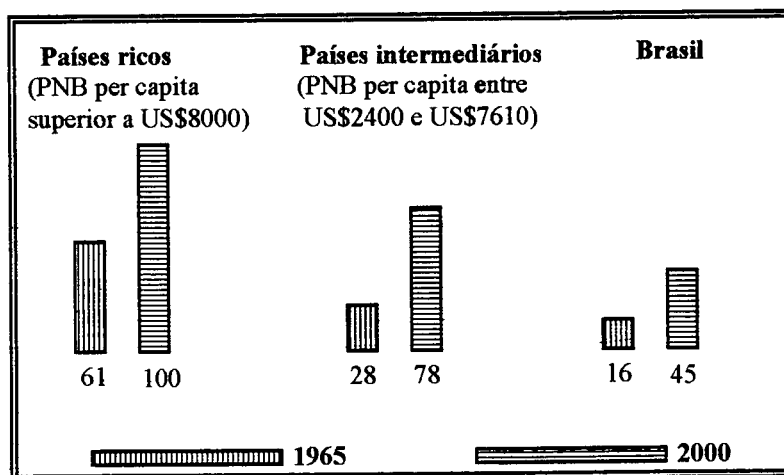


Figura 2.4 - Evolução da taxa de engajamento de jovens no ensino médio

Fonte - Helene (1994)

Os dados observados no Brasil, motivaram o BID a fazer, em seu relatório, algumas recomendações básicas para superar este quadro. Entre elas consta: estabelecer padrões para o sistema educacional no que diz respeito à eficiência e acessibilidade e verificar a aceitabilidade e o sucesso dos mesmos; transferir às escolas e às comunidades maior controle sobre a educação; fortalecer a profissão do magistério por meio da melhoria da formação dos mestres e de maiores salários para os mesmos; investir mais por aluno nos níveis do ensino fundamental e médio.

A necessidade de melhorias na estrutura educacional do País é percebida também por algumas lideranças empresariais (INova Gestão & Tecnologia, 1996). Não se trata da defesa exclusiva da educação técnica ou de aprimoramento de cursos específicos ou de cursos de terceiro grau, como se poderia esperar de grupos interessados em mão de obra treinada e eficiente. No entanto, os empresários brasileiros têm sentido uma necessidade urgente da melhoria da educação básica de seus funcionários. Isto decorre, segundo a reportagem do boletim INova, de alterações ocorridas na estrutura das empresas, onde tem se incentivado a participação dos trabalhadores, fazendo com que decisões que eram exclusivas das gerências passem a ser

realizadas em equipe, exigindo uma visão de conjunto, autonomia, iniciativa, flexibilidade e capacidade de resolver problemas.

Os problemas da educação escolar brasileira, especialmente no primeiro e segundo graus, vêm se juntar à uma segunda circunstância que preocupa as empresas na formação de seus funcionários. Trata-se do despreparo frente às inovações tecnológicas. Para Emerson Kapaz, secretário estadual de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento do estado de São Paulo em 1996, “a velocidade de recapacitação dos trabalhadores para novas atividades é menor que o ritmo de implantação das tecnologias informatizadas”. Ele acredita ser este um dos motivos que levam ao desemprego, até porque, ao mesmo tempo em que são dispensadoras de mão de obra, as novas tecnologias são demandantes de recursos humanos capacitados. De fato, a grande velocidade com que as novas tecnologias tomaram conta das relações empresariais tem mostrado o despreparo não só das empresas como do próprio sistema educacional brasileiro, que ainda, em algumas regiões, parece alheio às novas necessidades da demanda por inovações curriculares.

Para o professor Jacques Marcovitch, da Universidade de São Paulo (USP), a incorporação das novas tecnologias no cotidiano pessoal e profissional das pessoas formou um grande vácuo na estrutura educacional brasileira: “Há alunos que dominam melhor as inovações tecnológicas do que seus próprios professores”, diz Marcovitch na reportagem do boletim INova. A necessidade de inovações provocou também uma profunda alteração no perfil cultural das pessoas, submetidas a informações jamais imaginadas a apenas alguns anos atrás, como as que podem ser obtidas pelas televisões a cabo e pela Internet. O acesso a estas informações, por outro lado, pode tornar ainda mais amplo o abismo cultural entre brasileiros, divididos entre a elite e uma ampla maioria desacoplada.

Tendo em vista que o ensino fundamental e o ensino médio têm se tornado atualmente bem menos elitizados do que na década de 80, computando-se maioria de matrículas nas escolas públicas e o momento econômico que o país está atravessando, supõe-se que a demanda por novas vagas, deverá continuar concentrada majoritariamente na rede pública estadual. Conclui-se portanto que neste quadro de mudanças, surge a necessidade e importância de se desenvolver instrumentos de planejamento eficientes para o setor da educação pública.

CAPÍTULO 3

PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO E MODELOS DE INTERAÇÃO ESPACIAL

3.1 - Introdução

A distribuição espacial das atividades humanas representa motivo de preocupação àqueles que estão direta ou indiretamente envolvidos com o planejamento e a organização do espaço. As características específicas inerentes às diferentes atividades levam a padrões distintos do uso do solo e têm grande influência sobre a atração e geração das viagens diárias.

A grande concentração da população em áreas urbanas, que segundo Ferraz (1993), até o ano 2000 deve chegar a 51% , é uma das razões que têm aumentado a necessidade de se investir em planejamento e modelagens para uma distribuição adequada de serviços urbanos de infraestrutura básica, como é o caso de escolas, hospitais, postos de saúde, correios e serviços emergenciais. Outro fator importante é a quantidade considerável de recursos indispensável para a implantação e manutenção destes serviços.

Estes fatores têm preocupado planejadores, especialmente do setor público, onde os objetivos estão relacionados principalmente com a qualidade dos serviços oferecidos e a minimização dos custos necessários para garantir o bom funcionamento dos mesmos.

O agravamento da situação financeira em muitos níveis da administração pública tem ocasionado a diminuição do fluxo de verbas para vários setores e a qualidade destes serviços tende a ser diminuída. Torna-se necessário, portanto, que sejam estudadas alternativas e propostas soluções para estes problemas.

A literatura que trata do assunto é bastante ampla. São diversas as metodologias introduzidas para localizar os novos serviços e analisar a localização atual. O que se observa é a necessidade de que o planejador tenha bem definidos a estruturação teórica em que se apoiará a sua análise e a posterior execução dos procedimentos mais adequados.

Neste capítulo abordamos os problemas de localização, especialmente no setor público, dando ênfase ao uso de modelos de interação espacial.

3.2 - Problemas de localização

Em termos gerais, os problemas de localização se ocupam em suprir a população de uma dada área geográfica a partir de unidades de distribuição de produtos ou prestação de serviços. O que se procura determinar nestes problemas é a quantidade e a localização ideal destas unidades de forma a atender da melhor maneira possível um conjunto de usuários, cuja localização é conhecida.

O problema matemático clássico de localização é devido a Steiner que, em 1837, analisou a questão da localização de um *ponto central*. Dados três pontos quaisquer, o objetivo era determinar as coordenadas do ponto, denominado *ponto central*, tal que a soma das distâncias até os três outros pontos fosse mínima. Posteriormente estendeu o enfoque ao problema similar com n pontos (Novaes e Rosseto, 1993).

Inicialmente os modelos elaborados para resolver problemas de localização eram destinados ao setor privado. A localização de depósitos, silos e fábricas de forma a atender uma clientela espacialmente dispersa, foi objeto de inúmeros estudos (Scott, 1970; Cooper, 1963). Nestes problemas os objetivos estão diretamente relacionados com a minimização dos custos e a maximização dos lucros para as empresas.

A grande quantidade de recursos financeiros necessários para a implantação e manutenção de serviços de infra-estrutura para alguns setores da sociedade tais como o cultural, social e educacional, despertou nos administradores grande interesse na análise de serviços para o setor público. O usuário deste setor requer garantias de qualidade e provisão adequada de inúmeros serviços e, muitas vezes, decide ele próprio qual a unidade de serviço a ser utilizada.

Desta forma, especialmente a partir da década de 70, são inúmeros os estudos destinados a diferentes áreas dos serviços públicos, analisando a localização, a provisão adequada ou apresentando características específicas destes serviços (Austin, 1974; Hodgart, 1978; Dear, 1974; Massam, 1974; Leonardi, 1981; O'Kelly 1987; Almeida e Gonçalves, 1996). A

educação escolar é um setor público onde é grande o interesse, por parte dos administradores destes sistemas, em conhecer estratégias adequadas, com vistas a distribuição espacial das unidades escolares e a obtenção de um grau aceitável de compatibilidade entre características estruturais da rede de transporte e a localização das mesmas.

De forma geral, um problema de localização envolve uma destas três situações:

- localizar m unidades arbitrariamente partindo da hipótese de que não existe nenhuma unidade na área;
- localizar k unidades adicionais, dado que já existem unidades na área;
- dadas m unidades existentes, reorganizar a sua distribuição de tal forma a fechar unidades ociosas, aumentar a capacidade de unidades existentes ou instalar novas unidades;

Historicamente, os estudos relativos a problemas que se enquadram nestas situações, tiveram início com Weber que, em 1929 estudou a localização de uma fábrica visando minimizar a distância desta aos diversos pontos de matéria prima e o mercado consumidor. A extensão deste problema deu origem à metodologia das *p*-medianas.

Inicialmente estes problemas de localização eram resolvidos considerando espaços contínuos e as soluções, exatas ou aproximadas, eram, em geral, analisadas ou avaliadas por procedimentos heurísticos (Cooper, 1967; Kuene e Soland, 1972; Galvão, 1981). No entanto, espaços urbanos não são, em geral, contínuos. Foram introduzidos então os estudos de localização em redes. Neste caso, o espaço urbano fica restrito a arcos e vértices da rede e as distâncias são medidas ao longo dos arcos.

Os problemas de localização em rede são caracterizados pela natureza da função objetivo a ser otimizada. Larson e Odoni (1981) dividem estes problemas em três categorias:

- Problemas de *p*-medianas: como já observamos anteriormente este é uma extensão do problema de Weber e o objetivo é determinar a localização de p unidades, em geral sem restrições de capacidade, de tal forma que a distância entre estas e os n locais de demanda seja minimizada. Esta metodologia tem grande aplicação na localização de serviços como é o caso de escolas, hospitais, correios, agências bancárias, etc. Seu uso se intensificou a partir dos resultados obtidos por Hakimi em 1964, o qual demonstrou que sempre é

possível determinar um conjunto de medianas localizadas nos vértices da rede (Galvão, 1981). Atualmente são inúmeras as aplicações nas mais diversas áreas, usando esta metodologia.

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

O que se observa nestas metodologias é que a alocação da demanda às unidades é feita de forma determinística. A técnica de alocação mais utilizada é tudo ou nada, e os usuários são, em geral, alocados às unidades mais próximas. Por outro lado, os métodos concebidos de forma a minimizar distâncias, apresentam algumas desvantagens, quando aplicados em sua essência, pois as estratégias sugeridas em grande número de casos, não representam ou não orientam o comportamento dos usuários.

Estudos sociológicos, analisando o comportamento dos consumidores de bens e serviços, concluíram que a mobilidade destes não tem necessariamente uma relação explícita com a distância. Assim, a regra de alocação à unidade mais próxima, na prática, nem sempre é respeitada pelos usuários. Por esta razão muitos pesquisadores têm sugerido que nos modelos convencionais esta hipótese fosse substituída por uma regra de alocação probabilística (Clarck e Rushton, 1970; Beaumont, 1980; Beaumont, 1987; O'Kelly, 1987). Deste modo os deslocamentos são associados também com aspectos qualitativos dos destinos e com as opções de transporte, além da separação física.

Com o objetivo de incorporar no processo de modelagem aspectos relativos às características da área e dos serviços, além da separação espacial entre o usuário e seu destino, foram introduzidos modelos de interação espacial.

3.3 - Modelos de interação espacial

Os modelos de interação espacial descrevem o fluxo de pessoas, mercadorias ou mensagens de uma origem i para um destino j . Em geral, a distribuição deste fluxo dá-se com base na potencialidade de cada origem gerar viagens, na atratividade dos diversos destinos e em uma medida de *impedância* aos deslocamentos entre cada par (i, j) de origem-destino. A *impedância* é caracterizada como sendo uma medida que avalia os efeitos contrários à realização ou ao prolongamento das viagens.

Uma expressão geral para um modelo de interação espacial é dada por:

$$T_{ij} = f(\text{variáveis sócio-econômicas em } i \text{ e } j; \text{ separação espacial entre } i \text{ e } j)$$

onde a variável dependente T_{ij} representa o fluxo entre as zonas i e j no intervalo de tempo considerado.

Consideramos neste trabalho um processo de modelagem agregado onde, segundo Ben-Akiva e Lerman, (1985), a variável dependente representa um grupo de informações e o modelo procura explicar o comportamento do sistema através da média coletiva referente ao conjunto de indivíduos que foram agrupados. Abordamos alguns modelos de interação espacial sintéticos nos quais se procura entender a relação causal associada ao processo de circulação dos indivíduos. Segundo Bruton (1979), esses modelos se baseiam na suposição de que:

- antes que os padrões de viagens futuras possam ser previstos, deve-se entender os fatos que causam os movimentos;
- as relações causais que fornecem os padrões de movimento podem ser melhor entendidas se forem feitas analogias com certas leis do comportamento físico;

Entre os modelos sintéticos clássicos, são bastante conhecidos e teoricamente bem fundamentados os: modelos gravitacionais, modelos de oportunidades intervenientes e

modelos gravitacionais de oportunidades. Através destes modelos o planejador pode analisar a situação atual do sistema em estudo e determinar procedimentos sistemáticos para a estimativa de fluxos, elaborar planos alternativos de uso do solo e sugerir estratégias viáveis para o sistema de transportes.

A consistência teórica que os fundamenta e a operacionalidade que proporcionam têm transformado os modelos de interação espacial em ferramenta muito útil aos planejadores e têm despertado cada vez mais o interesse dos pesquisadores (Sen, 1985). Em vários de seus trabalhos Sen chama atenção para o fato de que esta classe de modelos permite analisar aspectos do planejamento urbano não abordados por outros modelos.

Em se tratando de sistemas educacionais uma metodologia usando modelos de interação espacial pode se mostrar bastante eficaz, visto que permite a inclusão no processo de modelagem de especificidades de cada região de uma área urbana no que se refere às escolas, bem como de características relativas aos deslocamentos dos estudantes no trajeto residência-escola. Além disso, podem se realizar simulações de várias situações para o sistema, e assim, sugerir estratégias de atuação sobre o mesmo no que diz respeito à alocação de alunos, fechamento de alguns cursos e abertura de outros, localização de novas escolas, distribuição de professores, sugestões no sistema de transportes e procedimentos associados a obtenção de bons níveis de acessibilidade pelos diferentes grupos populacionais envolvidos.

3.3.1 - Modelos gravitacionais

Os modelos gravitacionais partem da suposição de que os padrões de interação espacial são regidos por leis análogas à Lei da Gravidade formulada por Newton em 1686: “A força da gravidade que age entre dois corpos é diretamente proporcional à massa dos dois corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles”. Assim, a distribuição de viagens entre uma zona de origem i e uma zona de destino j pode ser explicada por uma relação análoga àquela estabelecida por Newton. A grandeza que representa analogia com a massa pode ser a população da zona de origem ou grupo dessa população. A atração do destino j pode ser caracterizada pelo número de empregos, número de vagas em escolas, etc, dependendo do sistema em estudo. A resistência ao deslocamento pode ser expressa pelo

quadrado da distância ou uma outra potência qualquer, ou ainda, por uma função do tempo ou dos custos de transporte, caracterizando a impedância já introduzida no início da seção.

A formulação dos conceitos iniciais relativos a estes modelos é atribuída a Carey que em 1858 os usou para quantificar fluxos migratórios e analisar padrões de interação originados pelo comércio varejista entre as cidades. Em 1920, Pallin observava que a atração entre os diferentes grupos populacionais parece seguir a lei teórica geral que determina que esta atração varia diretamente com a massa de cada grupo e inversamente com a distância entre eles elevada ao quadrado. No entanto, o modelo que ele propôs apresentou várias limitações teóricas e operacionais e assim não foi muito utilizado no meio científico da época (Gonçalves, 1992).

Várias formulações foram propostas para o modelo gravitacional. No entanto, a versão que foi amplamente difundida e aplicada deve-se a Wilson (1967), que apresentou o modelo gravitacional duplamente restrito na forma geral:

$$T_{ij} = A_i B_j O_i D_j f(C_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.1)$$

onde:

i são zonas de origem ;

j são zonas de destino;

O_i é o número de viagens que se originam na zona i ;

D_j é o número de viagens que se destinam à zona j ;

$$A_i = \left[\sum_{j=1}^n B_j D_j f(C_{ij}) \right]^{-1} \quad \text{e} \quad B_j = \left[\sum_{i=1}^n A_i O_i f(C_{ij}) \right]^{-1}$$

são chamados de fatores de balanceamento e introduzidos para garantir que se satisfaçam as leis de consistência de fluxo que, para $i, j = 1, \dots, n$ são dadas por:

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} = O_i \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} = D_j \quad (3.3)$$

C_{ij} é uma medida de impedância que pode ser a distância real, tempo de viagem, custos de transporte ou uma combinação destes;

T_{ij} é o número de viagens que se originam na zona i e se destinam à zona j e é representado por uma matriz denominada matriz dos fluxos ou matriz origem-destino;
 f é uma função de impedância;

A função de impedância $f(C_{ij})$ pode ser especificada de acordo com a percepção que o usuário tem em relação aos custos de transporte, definindo um parâmetro de impedância tal que se satisfaça a restrição :

$$\sum_i \sum_j T_{ij} C_{ij} = C \quad (3.4)$$

onde:

C_{ij} é definido como no modelo (3.1);

C é o custo total de transportes do sistema em estudo;

Duas das especificações mais comuns para $f(C_{ij})$ são dadas como segue:

- Percepção linear dos custos de transporte:

$$f(C_{ij}) = \exp(-\beta C_{ij}) \quad (3.5)$$

Esta função encerra a premissa de que os custos de transporte são percebidos de forma linear, isto é, a influência dos acréscimos do custo de transporte sobre o número de viagens independe dos valores absolutos dos custos. Segundo Ulysséa Neto (1991), esta função é apropriada para as áreas urbanas, onde as distâncias percorridas são relativamente curtas.

- Percepção logarítmica dos custos de transporte:

$$f(C_{ij}) = \frac{1}{(C_{ij})^\beta} = (C_{ij})^{-\beta} = \exp(-\beta \ln C_{ij}) \quad (3.6)$$

Este tipo de função é, segundo Ulysséa Neto (1991), recomendada nos casos em que as distâncias a serem percorridas sejam mais longas, como por exemplo, no transporte interurbano.

Deste modo, para estudos destinados à áreas urbanas, a forma mais comumente utilizada para um modelo gravitacional é:

$$T_{ij} = A_i B_j O_i D_j \exp(-\beta C_{ij}) \quad (3.7)$$

Este modelo, como incorpora as duas restrições (3.2) e (3.3) é conhecido como duplamente restrito. Os modelos que usam apenas uma destas restrições são denominados simplesmente restritos.

As aplicações desta classe de modelos têm crescido muito a partir da década de 80.

Mayhew e Leonardi (1982), desenvolveram um trabalho analisando equidade, eficiência e acessibilidade em sistemas de saúde urbanos e regionais, usando um modelo gravitacional simplesmente restrito: $T_{ij} = B_j O_i D_j \exp(-\beta C_{ij})$, onde os termos são definidos como no modelo (3.4). O sistema em estudo é analisado simulando diversas situações para o mesmo e permitindo observar o comportamento do usuário frente a cada uma destas situações.

Beaumont (1987) e O'Kelly (1987) também usaram modelos de interação espacial, em particular, o modelo gravitacional com restrição na origem, $T_{ij} = A_i O_i D_j \exp(-\beta C_{ij})$, onde os termos estão definidos como no modelo (3.4). O objetivo desta formulação é relaxar a hipótese de alocação à unidade mais próxima utilizada nos modelos de localização em redes.

Os padrões de equidade e acessibilidade nos sistemas de saúde foram analisados por Taket (1989) usando um modelo gravitacional com restrição de atratividade. Os resultados obtidos foram considerados de extrema importância para o planejamento estratégico, explorando as conseqüências de diversas opções viáveis de distribuição das unidades hospitalares e alocação de pacientes.

Os efeitos de novos planos de saúde, da reforma e fechamento de hospitais no fluxo dos pacientes num espaço urbano são determinados por Lowe e Sen (1996), usando um modelo gravitacional $T_{ij} = A_i B_j F_{ij}$, onde, $F_{ij} = F(c_{ij})$ e, c_{ij} é um vetor com K medidas de separação $c^1_{ij} \dots c^k_{ij}$; a função F_{ij} é dada por $F_{ij} = \exp\left(\sum_{k=1}^K c^k_{ij} \alpha^k\right)$ onde α^k são parâmetros a estimar.

Neste caso o fator de impedância tradicional é substituído por K medidas de separação com características espaciais e não espaciais.

Soot e Sen (1991) também usaram modelo semelhante no desenvolvimento de um sistema destinado a planejar o desenvolvimento econômico em ambientes urbanos e regionais que, segundo os autores citados, está relacionado diretamente com o nível de oferta e procura de empregos.

3.3.2 - Modelos de oportunidades intervenientes

Os conceitos fundamentais para o desenvolvimento de modelos de oportunidades intervenientes foram apresentados por Stouffer (1940). Este, a partir de dados associados aos movimentos das pessoas dentro do distrito metropolitano de Cleveland nos Estados Unidos, estabeleceu o princípio básico de que os processos de distribuição espacial, sejam eles de assentamento (residências, serviços) sejam de locomoção (deslocamentos urbanos ou interurbanos), não têm necessariamente uma relação explícita com a distância. Ele afirmou que: “o número de pessoas indo a uma certa distância é diretamente proporcional ao número de oportunidades naquela distância e inversamente proporcional ao número de oportunidades mais acessíveis, denominadas de *oportunidades intervenientes*”.

Assim, considerando o processo de distribuição espacial de um determinado componente (número de residentes, número de viagens, residência, trabalho etc) com origem numa zona i , a parte alocável a uma determinada zona j será diretamente proporcional ao número de oportunidades existentes em j e inversamente proporcional ao número de oportunidades intervenientes a partir da zona i .

Definindo:

- ΔY como sendo o número de pessoas movendo-se de uma dada origem para uma faixa circular S , de largura ΔS e, delimitada por dois círculos de raios $S - 1/2\Delta S$ e $S + 1/2\Delta S$, cujos centros estão sobre a origem dada;
- ΔX como sendo o número de oportunidades dentro da faixa circular S ;
- A uma constante de proporcionalidade;
- X como sendo o número de oportunidades intervenientes, ou seja, o número de oportunidades entre a origem e a faixa circular S

Stouffer apresentou a formulação matemática do modelo de oportunidades intervenientes:

$$\frac{\Delta Y}{\Delta S} = \frac{A}{X} \cdot \frac{\Delta X}{\Delta S} \quad (3.8)$$

O princípio de Stouffer foi aplicado por ele próprio (Stouffer, 1960) para descrever problemas de migração e, por diversos outros autores a problemas de tráfego, especialmente no que se refere à distribuição de viagens (Murany e Miller, 1966; Leonard e Delano, 1965).

É importante observar que Stouffer já alertou para a necessidade de, em aplicações práticas de sua teoria, se definir de forma explícita as oportunidades intervenientes. Além disso, sugeriu que a definição apropriada depende da particular situação em estudo.

No final dos anos 50, Schneider, (citado em Pyers, 1965), usando o princípio básico de Stouffer, desenvolveu um modelo de oportunidades intervenientes, cuja dedução está baseada na teoria das probabilidades e, constitui a forma usual do modelo atualmente.

Em sua formulação, Schneider usou como idéia básica que, dentro da área de estudo as viagens se manterão tão curtas quanto possível, aumentando de comprimento somente se elas não puderem encontrar um destino aceitável numa distância menor. Assim, a pessoa se desloca de uma zona de origem i até a oportunidade de destino; se este destino é aceitável ela conclui sua viagem neste ponto; caso contrário ela se desloca até a oportunidade de destino mais próxima e, assim sucessivamente. A equação (3.9) representa o modelo desenvolvido por Schneider:

$$T_{ij} = O_i B_i \exp(-\lambda W_{ij}) [1 - \exp(-\lambda V_j)] \quad (3.9)$$

onde:

λ é a probabilidade de que uma oportunidade qualquer seja aceita se ela for considerada.;

V_j é o número de oportunidades da zona j ;

W_{ij} é o número de oportunidades que se interpõe entre as zonas i e j

O_i é o número total de viagens que se originam em i ;

B_i é o fator de balanceamento introduzido para assegurar que uma viagem qualquer que se origina em i termine em algum destino j e

$$\sum_{j=1}^n B_i \exp(-\lambda W_{ij}) [1 - \exp(-\lambda V_j)] = 1 \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n$$

T_{ij} é o número de viagens que se originam em i e terminam em j ;

Diversas aplicações do modelo (3.9) e suas variações foram realizadas ainda na década de 60 (ver Pyers, 1965). Trabalhos mais recentes também podem ser encontrados na literatura, entre os quais citamos: Novaes (1981) apresenta uma aplicação de um modelo de oportunidades intervenientes na determinação da localização e dimensionamento de um shopping center na cidade de São Paulo - Brasil; também na cidade de São Paulo, o consórcio Engevix-Sofrérail aplicou um modelo de oportunidades intervenientes para a determinação da distribuição de viagens no sistema de trens suburbanos da Fepasa em 1973 (Remodelação do Serviço de Subúrbios - Fepasa citado em Novaes, 1981).

3.3.3 - Modelos gravitacionais de oportunidades

Analisando os modelos gravitacionais e os modelos de oportunidades intervenientes, podemos estabelecer uma análise comparativa entre eles.

Nos modelos gravitacionais o fluxo entre as zonas de origem e destino é função explícita da distância. A impedância entre as zonas é caracterizada pela separação espacial entre elas. Embora esta não seja considerada apenas como distância propriamente dita, podendo ser tempo de viagem ou custos de transportes, ainda assim as oportunidades intervenientes entre o par (i, j) de origem-destino não são levadas explicitamente em consideração.

Por outro lado, nos modelos de oportunidades intervenientes o entendimento básico é que o fluxo entre as zonas é determinado pela potencialidade das oportunidades existentes em determinado destino, confrontadas com as oportunidades mais acessíveis. Ou seja, nestes modelos a impedância é caracterizada apenas pelas oportunidades intervenientes. A distância entre as zonas não é levada em consideração explicitamente.

No entanto, o que se observa é que o deslocamento dos indivíduos ocorre em função da distância e também em função das características das zonas. Neste sentido, os efeitos de

impedância levados em conta pelo modelo gravitacional e pelo modelo de oportunidades intervenientes são efeitos complementares e não substitutivos. Desta forma, pode-se observar que cada classe de modelos citada descreve apenas parcialmente o processo de circulação das pessoas e que uma descrição mais completa da interação espacial poderia ser obtida integrando as duas classes de modelos.

A literatura da década passada apresenta algumas contribuições no sentido de unir estes dois modelos (Wills, 1986). Uma formulação de um modelo híbrido, unindo modelos gravitacionais e modelos de oportunidades intervenientes, bastante aceita pela comunidade científica envolvida com modelos de interação espacial, foi dada por Gonçalves em 1992 (ver Gonçalves, 1992; Gonçalves e Ulysséia Neto, 1993; Roy, 1993; Diplock e Openshaw, 1996; Openshaw e Openshaw, 1997).

Na dedução de seu modelo, Gonçalves adota um conjunto de hipóteses associadas com as relações entre o número de viagens entre cada par origem-destino e as variáveis explicativas de tais interações. Parte da suposição de que o número de viagens entre cada par (i, j) de origem-destino, em um intervalo de tempo é:

- proporcional à potencialidade da zona de origem gerar viagens;
- proporcional à atratividade da zona de destino;
- inversamente proporcional a uma medida de impedância associada com a separação física entre as zonas i e j ;
- inversamente proporcional a uma medida de impedância associada à uma medida do número de oportunidades intervenientes entre as zonas i e j ;

Deste modo, o modelo leva em consideração os efeitos da propensão de viagens da zona de origem, a atratividade dos destinos e os efeitos de impedância de separação espacial e das oportunidades intervenientes entre as zonas consideradas.

O modelo é expresso matematicamente por:

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j \exp(-\lambda W_{ij} - \beta C_{ij}), \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.10)$$

onde:

T_{ij} é o número de viagens da zona de origem i para a zona de destino j ;

O_i é o número de viagens originadas na zona i ;

D_j é o número de viagens atraídas pela zona j ;

W_{ij} é uma medida do número de oportunidades intervenientes entre as zonas i e j ;

C_{ij} é a distância, tempo de viagem ou custos de transporte entre as zonas i e j ;

λ, β são parâmetros a calibrar;

$$A_i = \left[\sum_j B_j D_j \exp(-\lambda W_{ij} - \beta C_{ij}) \right]^{-1} \text{ e } B_j = \left[\sum_i A_i O_i \exp(-\lambda W_{ij} - \beta C_{ij}) \right]^{-1}$$

são chamados fatores de balanceamento.

O modelo (3.10) reúne as teorias que fundamentam os modelos gravitacionais e os modelos de oportunidades intervenientes, e estabelece a complementaridade dos efeitos da separação espacial e das oportunidades intervenientes sobre a distribuição das viagens entre as diferentes regiões de uma área urbana.

No entanto, como os padrões de distribuição de viagens são também influenciados por aspectos comportamentais dos indivíduos com relação à utilização das atividades e opções de transportes (Morris et al, 1979), é adequado que estes aspectos também possam ser contemplados com a reunião das duas classes de modelos. Uma forma de incorporar estes aspectos no modelo (3.10) é através de uma definição apropriada para as oportunidades intervenientes.

3.4- Considerações sobre a definição das oportunidades intervenientes

A caracterização de oportunidade interveniente e a determinação do número de oportunidades que se interpõe entre uma zona de origem i e uma zona de destino j são procedimentos de fundamental importância no desenvolvimento de aplicações dos modelos que envolvem oportunidades intervenientes.

Para ilustrar o que vem a ser uma oportunidade de destino que se interpõe entre duas zonas, apresentamos a seguinte situação: consideremos um par de zonas origem-destino (i, j) , onde o estudante reside na zona de origem i e uma escola localiza-se na zona de destino j ; o estudante se desloca até a unidade escolar da zona j se não encontrar uma escola que o satisfaça em outra zona; caso encontre uma escola m que lhe seja mais aceitável e, deste

modo não se dirige até a escola da zona j , esta escola m é chamada de oportunidade interveniente entre as zonas i e j .

Esta situação é consoante com a hipótese apresentada por Stouffer em 1940 e com a premissa básica adotada por Schneider no final dos anos 50 (citadas na seção 3.3.2). No entanto, como o próprio Stouffer já observou quando da proposição do modelo de oportunidades (3.8), é necessário ter critérios adequados para medir as oportunidades em cada zona e, determinar o que é uma oportunidade interveniente, dependendo da particular situação em estudo.

Uma metodologia para definir as oportunidades intervenientes foi proposta por Stouffer (Stouffer, 1960). Neste trabalho ele propôs que o número de oportunidades que se interpõe entre uma origem O e um destino D pode ser determinada assim:

1. Conecta-se a origem O e o destino D por uma linha reta;
2. Desenha-se um círculo usando esta linha como diâmetro;
3. Conta-se as oportunidades no interior deste círculo; estas são as oportunidades intervenientes entre O e D ;

A escolha de um círculo foi feita de forma arbitrária, por simplicidade. Segundo o autor poderia ser usada outra forma geométrica qualquer. A Figura 3.1 ilustra esta forma de definir as oportunidades intervenientes.

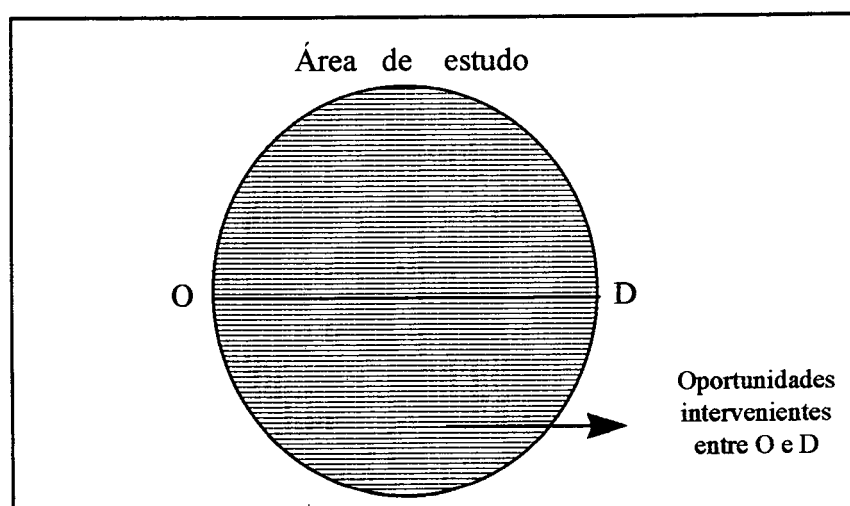


Figura 3.1 - Definição das oportunidades intervenientes dada por Stouffer (1960)

Fonte: Gonçalves (1992)

Outro estudo relativo à determinação das oportunidades intervenientes foi desenvolvido por Galle e Taeuber (1966). Estes, analisando as viagens das pessoas entre algumas cidades dos Estados Unidos, utilizaram um método semelhante àquele proposto por Stouffer. Consideraram como diâmetro do círculo, (citado no item 2), no qual são contadas as oportunidades, a reta unindo as duas cidades e estendendo-a mais ou menos 120 quilômetros do centro de cada cidade.

Gonçalves (1992), usando o modelo (3.10) para determinar fluxos intermunicipais de passageiros, considerando como modo de transporte o ônibus, desenvolveu outra metodologia para determinar as oportunidades em cada zona e obter o número de oportunidades intervenientes. Neste estudo o número de oportunidades existentes em cada zona de tráfego foi caracterizado por um índice relativo de oportunidades. Nesse índice foram atribuídos pesos para os diferentes propósitos da viagem. Para determinar as zonas intervenientes foi considerado o tempo de viagem entre as zonas e o nível hierárquico das mesmas, sendo que este foi atribuído usando métodos da teoria do Lugar do Central.

Neste trabalho estamos interessados em desenvolver um método para a definição das oportunidades intervenientes onde seja possível levar em consideração aspectos associados ao comportamento dos indivíduos. Incluindo estes aspectos na definição das oportunidades intervenientes, o modelo gravitacional de oportunidades pode se tornar mais rico e ser mais eficiente quando de sua utilização na análise de sistemas educacionais.

3.5 - Modelos de interação espacial e entropia

Conforme pode se constatar nas seções anteriores, o desenvolvimento dos modelos gravitacionais e dos modelos de oportunidades intervenientes deu-se de forma bastante empírica, através da analogia com a Lei da Gravidade de Newton e do princípio básico estabelecido por Stouffer. No entanto, Wilson deu uma contribuição importante no sentido de obter um embasamento teórico sólido para estas classes de modelos, deduzindo-os através do método da maximização da entropia.

Segundo Wilson (1970), nas aplicações ao planejamento urbano, regional e de transportes, busca-se a distribuição de probabilidades dos estados do sistema em análise tal que a entropia seja máxima, obedecidas certas condições.

3.5.1- Os conceitos de entropia

Na literatura científica o conceito de entropia aparece em várias situações. No entanto, segundo Ortúzar (1988), podem se distinguir dois casos gerais:

- entropia se referindo a uma medida objetiva e mensurável de certa propriedade de um sistema;
- entropia não estando diretamente associada à medida de uma determinada propriedade de um sistema;

Dentro desta segunda linha de pensamento pode-se ter a entropia como probabilidade, relacionada com a noção de incerteza ou, entropia como estado de uma distribuição de probabilidades.

3.5.2- Entropia, probabilidades e incerteza

De forma geral, os sistemas são compostos por uma grande quantidade de componentes distintas e perfeitamente separadas. A microanálise destas componentes pode ser então muito difícil. É possível, no entanto, prever com precisão adequada algumas das propriedades de um sistema complexo e desorganizado como um todo. Neste caso, assume-se o estado de um determinado sistema como uma média estatística dos vários estados em que se encontram seus componentes. Este tipo de análise é objeto de estudo da Mecânica Estatística onde, estudando os sistemas é possível prever propriedades macroscópicas dos mesmos partindo de um estado microscópico. Uma vez que os estados macroscópicos são compostos pela justaposição de um número extremamente elevado de níveis microscópicos, a melhor maneira de se avaliar os efeitos à nível macro é a do tratamento estatístico (Novaes, 1981).

Neste contexto, é adequado observar que, em geral, quando se procura descrever o estado de um sistema pode-se ter as seguintes situações:

- uma descrição bem detalhada e completa, que permite chegar a especificação dos *microestados* do sistema, onde cada um representa uma descrição bem definida do sistema;

- uma descrição bem definida porém não tão detalhada quanto a anterior, permitindo especificar o *mesoestado* do sistema; muitos microestados podem corresponder a um mesoestado;
- uma descrição mais geral dada por um conjunto de informações sobre o sistema, dando origem a um *macroestado*;

Partindo da idéia de que um conjunto de microestados pode satisfazer ao macroestado do sistema, Boltzmann (citado em Novaes, 1981) apresentou a definição estatística de entropia como sendo:

$$H = -K \sum_i f_i \ln f_i \quad (3.11)$$

onde f_i é a frequência relativa de ocorrência de cada microestado do sistema e K é uma constante positiva.

Considerando um certo evento E com uma probabilidade de ocorrência P , Shannon, em 1954 (citado em Ulysséa Neto, 1991), nas suas pesquisas sobre Teoria da Informação, introduziu a expressão:

$$H[P] = -K \sum_i p_i \ln p_i \quad (3.12)$$

como uma medida da incerteza associada com uma série de eventos $i=1,2,\dots,n$ e cujas probabilidades de ocorrência são dadas pela distribuição de probabilidades $[P]=[p_1, p_2, \dots, p_n]$.

A medida $H[P]$ foi definida por Shannon como sendo a entropia da distribuição de probabilidades $[P]$; $H[P]$ é considerada como uma medida absoluta da incerteza associada com uma certa distribuição de probabilidades (Ulysséa Neto, 1991) e representa uma maneira eficiente de caracterizar um macroestado de um sistema, que pode ser obtido a partir de uma série de diferentes microestados tendo, cada qual, uma certa probabilidade de ocorrência.

3.5.3- O método da maximização da entropia e a dedução dos modelos de distribuição de viagens

No campo do Planejamento Urbano Wilson estendeu os conceitos da Teoria de Informação à formulação e dedução de modelos de transportes, uso do solo e atividades, permitindo que se alcançassem melhores níveis de verossimilhança de representação da realidade.

Esta seção aborda a dedução dos modelos de interação espacial usados para descrever a distribuição de viagens da população e citados neste trabalho, através da maximização da entropia definida por Shannon.

Assim, inicialmente observamos que, no contexto deste trabalho, um sistema de interesse consiste em uma área urbana ou regional que compreenda n zonas de origem e n zonas de destino onde o objeto de estudo é o fluxo de passageiros entre estas zonas. Os níveis de detalhamento, apresentados na seção anterior, podem ser descritos como:

- O microestado do sistema corresponde à especificação de quais passageiros se deslocam de cada uma das zonas de origem i para cada uma das zonas de destino j .
- O mesoestado é representado pelo número de pessoas que se deslocam entre cada par (i, j) de origem-destino.
- O macroestado é caracterizado pela especificação das restrições, que correspondem às informações prévias existentes sobre o sistema, tais como o número de viagens originadas em cada zona, o número de viagens destinadas a cada zona, etc. Estas restrições são determinadas exogenamente.

Considerando que o número de pessoas que viajam entre as diferentes zonas de uma área urbana é, em geral, bastante elevado, a definição do microestado, nomeando os passageiros, torna-se muito trabalhosa na prática. Para efeito de planejamento é fundamental que se determine o número de viagens que ocorrem entre cada par origem-destino, o que caracteriza o mesoestado. Para representar o mesoestado utiliza-se uma matriz de viagens $[T_{ij}]$ onde cada elemento (T_{ij}) representa o número de pessoas que viajam da origem i para o destino j .

Se no intervalo de tempo considerado tem-se um total de T viagens na área de estudo, pode-se observar que cada microestado representa uma distribuição particular das T viagens entre as

células (i, j) da matriz de viagens $[T_{ij}]$. Um microestado genérico será denominado uma distribuição particular e denotado por (T_{ij}) .

É importante salientar que as distribuições particulares distintas podem originar a mesma matriz de viagens $[T_{ij}]$. Da mesma forma, matrizes de viagens distintas podem estar associadas ao mesmo conjunto de restrições ou seja, ao mesmo macroestado do sistema.

Uma vez caracterizados os níveis de detalhamento do processo de distribuição de viagens, abordamos a dedução do modelo gravitacional usando a metodologia desenvolvida por Wilson (1970).

Em sua dedução, Wilson introduziu o conhecimento prévio do sistema de interesse na forma de restrições. Neste caso, o macroestado do sistema foi caracterizado pelas restrições:

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} = O_i, \quad i=1,2,\dots,n \quad (3.13)$$

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} = D_j, \quad j=1,2,\dots,n \quad (3.14)$$

$$\sum_i \sum_j T_{ij} C_{ij} = C, \quad i,j=1,2,\dots,n \quad (3.15)$$

As restrições (3.13) e (3.14) significam que as somas ao longo das linhas e das colunas da matriz de viagens $[T_{ij}]$ devem ser iguais ao número de viagens originadas e destinadas, respectivamente, à cada zona. A restrição (3.15) é chamada restrição de custo generalizado e implica que o total gasto com viagens na região de estudo, no intervalo de tempo considerado, é uma quantidade fixa C .

A suposição básica adotada por Wilson quando da dedução do modelo gravitacional através da maximização da entropia de Shannon, é que “a probabilidade de ocorrência de uma matriz de viagens $[T_{ij}]$ é proporcional ao número de distribuições particulares (ou microestados) que lhe dão origem”. Além disso é usada a hipótese de que todos os microestados são igualmente prováveis de ocorrer. Dessa forma, um critério para a determinação da mais provável matriz de viagens é:

Determinar a matriz $[T_{ij}]$ que tem o maior número de distribuições particulares a ela associadas.

Considerando

$$T = \sum_i O_i = \sum_j D_j = \sum_i \sum_j T_{ij}, \quad (3.16)$$

segundo Gonçalves (1992), o número total de viagens na área em estudo no intervalo de tempo considerado, o número de distribuições particulares (microestados (T_{ij})) que dão origem à mesma matriz de viagens $[T_{ij}]$ (mesoestado) pode ser obtido como segue:

- Primeiramente selecionam-se T_{11} viagens de T ; o número de maneiras que isto pode ser feito é $C_{T_{11}}^T$ (combinação dos T elementos em grupos de T_{11} elementos).
- A seguir selecionam-se T_{12} viagens das $T-T_{11}$ viagens restantes; isto pode ser feito de $C_{T_{12}}^{T-T_{11}}$ formas distintas.
- Continua-se este procedimento até que todas as viagens sejam selecionadas.
- O número de maneiras de se obter T_{11} viagens na célula $(1,1)$, T_{12} viagens na célula $(1,2)$, etc, denotado por $H[T_{ij}]$, é dado por:

$$\begin{aligned} H[T_{ij}] &= C_{T_{11}}^T \times C_{T_{12}}^{T-T_{11}} \times C_{T_{13}}^{T-T_{11}-T_{12}} \times \dots \times C_{T_{mn}}^{T-T_{11}-\dots-T_{n(n-1)}} \\ &= \frac{T!}{T_{11}!(T-T_{11})!} \times \frac{(T-T_{11})!}{T_{12}!(T-T_{11}-T_{12})!} \times \frac{(T-T_{11}-T_{12})!}{T_{13}!(T-T_{11}-T_{12}-T_{13})!} \times \dots \\ &= \frac{T!}{T_{11}! T_{12}! T_{13}! \dots} \end{aligned}$$

Ou seja:

$$H[T_{ij}] = \frac{T!}{\prod_{ij} T_{ij}!} \quad (3.17)$$

Existindo a suposição de que todos os microestados são equiprováveis, o mesoestado mais provável de ocorrer é aquele que tem associado a maior quantidade de microestados. Portanto, para encontrar o mesoestado mais provável de ocorrer, o que corresponde a matriz de viagens

$[T_{ij}]$ mais provável de ocorrer entre aquelas que satisfazem as restrições à nível de macroestado, basta maximizar H , sujeito às restrições (3.13) até (3.15). Deste modo, Wilson propôs o problema de maximização P dado por:

$$\max H[T_{ij}] = \frac{T!}{\prod_{ij} T_{ij}!} \quad (3.18)$$

sujeito às restrições (3.13), (3.14) e (3.15) e ainda a restrição de não negatividade dos T_{ij} .

Por questões de conveniência, é mais aconselhável maximizar a função $\ln H$ que, sendo uma função monótona crescente, tem o mesmo máximo da função (3.17). Assim, no problema (3.18) podemos usar a função objetivo como sendo:

$$\ln \left\{ \frac{T!}{\prod_{ij} T_{ij}!} \right\} \quad (3.19)$$

Usando propriedades operatórias dos logaritmos e a fórmula de aproximação de Stirling ($\ln N! \cong N \ln N - N$; ver por ex. Feller, 1976), podemos escrever:

$$\begin{aligned} \ln \left\{ \frac{T!}{\prod_{ij} T_{ij}!} \right\} &= \ln T! - \sum_i \sum_j \ln T_{ij}! \\ &\cong T \ln T - T - \sum_i \sum_j (T_{ij} \ln T_{ij} - T_{ij}) \end{aligned} \quad (3.20)$$

Deste modo, o problema P é escrito como:

$$\max \left[T \ln T - T - \sum_i \sum_j (T_{ij} \ln T_{ij} - T_{ij}) \right] \quad (3.21)$$

sujeito a

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} = O_i$$

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} = D_j$$

$$\sum_i \sum_j T_{ij} C_{ij} = C$$

$$T_{ij} \geq 0 \text{ para } \forall i, j = 1, 2, \dots, n$$

Para resolver este problema pode ser usado o método dos Multiplicadores de Lagrange (Ver por exemplo Shenk, 1984). A função lagrangeana é dada por:

$$L = T \ln T - T - \sum_i \sum_j (T_{ij} \ln T_{ij} - T_{ij}) + \sum_i \lambda_i \left(O_i - \sum_j T_{ij} \right) + \sum_j \mu_j \left(D_j - \sum_i T_{ij} \right) + \beta \left(C - \sum_i \sum_j T_{ij} C_{ij} \right)$$

e as condições necessárias para a existência de extremos locais são dadas por:

$$\frac{\delta L}{\delta T_{ij}} = - \left(T_{ij} \cdot \frac{1}{T_{ij}} + \ln T_{ij} - 1 \right) - \lambda_i - \mu_j - \beta C_{ij} = 0 \quad (3.22)$$

$$\frac{\delta L}{\delta \lambda_i} = O_i - \sum_j T_{ij} = 0 \quad (3.23)$$

$$\frac{\delta L}{\delta \mu_j} = D_j - \sum_i T_{ij} = 0 \quad (3.24)$$

$$\frac{\delta L}{\delta \beta} = C - \sum_i \sum_j T_{ij} C_{ij} = 0 \quad (3.25)$$

Como a função objetivo (3.20) é côncava (ver, por exemplo McEliece, 1978) e as restrições (3.13) até (3.15) são de igualdade, as condições (3.22) até (3.25) são também suficientes para a existência de um máximo global (Shenk, 1984).

Da equação (3.22) obtém-se:

$$T_{ij} = e^{-\lambda_i - \mu_j - \beta C_{ij}} \quad (3.26)$$

Substituindo (3.26) em (3.23) e em (3.24), temos

$$O_i = e^{-\lambda_i} \sum_j e^{-\mu_j - \beta C_{ij}} \quad (3.27)$$

$$D_j = e^{-\mu_j} \sum_i e^{-\lambda_i - \beta C_{ij}} \quad (3.28)$$

A expressão (3.25) fornece a restrição (3.15).

Fazendo:

$$A_i = \frac{e^{-\lambda_i}}{O_i} \quad \text{e} \quad B_j = \frac{e^{-\mu_j}}{D_j}$$

e substituindo em (3.26), (3.27) e (3.28), obtém-se:

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j e^{-\beta C_{ij}}$$

que equivale exatamente ao modelo gravitacional (3.7) desenvolvido por Wilson em 1967.

Além disso podemos escrever:

$$A_i = \left[\sum_j B_j D_j e^{-\beta C_{ij}} \right]^{-1} \quad \text{e} \quad B_j = \left[\sum_i A_i O_i e^{-\beta C_{ij}} \right]^{-1}$$

que correspondem aos fatores de balanceamento apresentados no modelo (3.7).

É importante observar que as variáveis T_{ij} para $i, j = 1, 2, \dots, n$ do problema P podem ser transformadas em proporções, fazendo-se:

$$p_{ij} = \frac{T_{ij}}{T} \quad o_i = \frac{O_i}{T} \quad d_j = \frac{D_j}{T} \quad c = \frac{C}{T}$$

onde p_{ij} é a probabilidade de uma viagem originar-se na zona i e destinar-se à zona j ; T é definido como na expressão (3.16).

Wilson (1970) mostrou que o problema P é equivalente ao problema P' , dado por:

$$\max \left(- \sum_i \sum_j p_{ij} \ln p_{ij} \right) \quad (3.29)$$

sujeito a

$$\sum_j p_{ij} = o_i \quad (3.30)$$

$$\sum_i p_{ij} = d_j \quad (3.31)$$

$$\sum_i \sum_j p_{ij} c_{ij} = c \quad (3.32)$$

$$1 \geq p_{ij} \geq 0$$

A função objetivo (3.29) a ser maximizada no problema P' equivale à expressão (3.12) que é a entropia da distribuição de probabilidades definida por Shannon. Portanto, as funções objetivo (3.21) e (3.29) são apenas formas distintas de medir a entropia de um sistema.

Gonçalves (1992) quando apresentou o modelo gravitacional de oportunidades (3.10), analisando os resultados obtidos por Wilson para o modelo gravitacional, fez a suposição de que “o modelo gravitacional de oportunidades seria um modelo entrópico e poderia ser obtido através da maximização da entropia, desde que se adicionasse uma nova restrição, garantindo que o número médio de oportunidades intervenientes por viagem ou o número total de oportunidades intervenientes no sistema fosse uma quantidade fixa W ”.

A suposição feita foi mostrada verdadeira por Gonçalves e o modelo (3.10) também foi deduzido através da maximização da entropia.

Neste caso, o problema de maximização a ser resolvido é dado por:

$$\max \left[T \ln T - T - \sum_i \sum_j (T_{ij} \ln T_{ij} - T_{ij}) \right] \quad (3.33)$$

sujeito a

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} = O_i$$

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} = D_j$$

$$\sum_i \sum_j T_{ij} C_{ij} = C$$

$$\sum_i \sum_j T_{ij} W_{ij} = W$$

$$T_{ij} \geq 0 \text{ para } \forall i, j = 1, 2, \dots, n$$

onde a restrição $\sum_i \sum_j T_{ij} W_{ij} = W$ acrescentada é relativa às oportunidades intervenientes.

A função lagrangeana é definida como:

$$\begin{aligned} M = & T \ln T - T - \sum_i \sum_j (T_{ij} \ln T_{ij} - T_{ij}) + \sum_i \gamma_i \left(O_i - \sum_j T_{ij} \right) + \sum_j \mu_j \left(D_j - \sum_i T_{ij} \right) + \\ & + \beta \left(C - \sum_i \sum_j T_{ij} C_{ij} \right) + \lambda \left(W - \sum_i \sum_j T_{ij} W_{ij} \right) \end{aligned}$$

Derivando e igualando as derivadas parciais à zero, temos:

$$\frac{\delta M}{\delta T_{ij}} = - \left(T_{ij} \cdot \frac{1}{T_{ij}} + \ln T_{ij} - 1 \right) - \gamma_i - \mu_j - \beta C_{ij} - \lambda W_{ij} = 0 \quad (3.34)$$

$$\frac{\delta M}{\delta \gamma_i} = O_i - \sum_j T_{ij} = 0 \quad (3.35)$$

$$\frac{\delta M}{\delta \mu_j} = D_j - \sum_i T_{ij} = 0 \quad (3.36)$$

$$\frac{\delta M}{\delta \beta} = C - \sum_i \sum_j T_{ij} C_{ij} = 0 \quad (3.37)$$

$$\frac{\delta M}{\delta \lambda} = W - \sum_i \sum_j T_{ij} W_{ij} = 0 \quad (3.38)$$

Da equação (3.34) obtém-se:

$$T_{ij} = e^{-\gamma_i - \mu_j - \beta C_{ij} - \lambda W_{ij}} \quad (3.39)$$

Substituindo (3.39) em (3.35) e em (3.36), temos

$$O_i = e^{-\gamma_i} \sum_j e^{-\mu_j - \beta C_{ij} - \lambda W_{ij}} \quad (3.40)$$

$$D_j = e^{-\mu_j} \sum_i e^{-\gamma_i - \beta C_{ij} - \lambda W_{ij}} \quad (3.41)$$

Fazendo:

$$A_i = \frac{e^{-\gamma_i}}{O_i} \quad \text{e} \quad B_j = \frac{e^{-\mu_j}}{D_j}$$

e substituindo em (3.39), (3.40) e (3.41), obtém-se:

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j e^{-\beta C_{ij} - \lambda W_{ij}} \quad (3.42)$$

que equivale exatamente ao modelo gravitacional de oportunidades (3.10) desenvolvido por Gonçalves.

Além disso obtemos:

$$A_i = \left[\sum_j B_j D_j e^{-\beta C_{ij} - \lambda W_{ij}} \right]^{-1} \quad \text{e} \quad B_j = \left[\sum_i A_i O_i e^{-\beta C_{ij} - \lambda W_{ij}} \right]^{-1} \quad (3.43)$$

que correspondem aos fatores de balanceamento apresentados no modelo (3.10).

A dedução do modelo de oportunidades intervenientes também foi feita usando a maximização da entropia e pode ser vista com detalhes em Novaes (1981).

3.6 - Um enfoque microeconômico

Uma alternativa às deduções dos modelos de interação espacial através do princípio de máxima entropia, apresentada nas seções anteriores, foi desenvolvida por Cochrane (1975) e é apresentada em Novaes(1981). Cochrane (1975), analisando alguns destes modelos mostrou ser possível formulá-los a partir de um enfoque microeconômico.

O enfoque clássico da análise microeconômica à nível urbano, envolvendo localização de atividades e custos de transportes, considera um indivíduo ou unidade familiar típica como referência elementar, para o qual se atribuem algumas curvas de utilidade. Tais funções têm, em geral, características determinísticas (Novaes, 1981).

No trabalho de Cochrane, por outro lado, os indivíduos são agrupados em classes e a diversidade de comportamento entre os elementos de cada categoria é incorporada através de uma distribuição probabilística que passa a reger a utilidade do grupo.

Na análise de um modelo de distribuição de viagens entre as diferentes zonas de uma área urbana, Cochrane considera os indivíduos de cada zona de destino agrupados em uma única classe. A utilidade u associada a uma viagem entre o par (i, j) de origem-destino é definida através de uma distribuição probabilística.

A suposição básica adotada na estruturação do modelo de Cochrane é que a probabilidade de um indivíduo se dirigir à zona j é igual à probabilidade de tal viagem oferecer um benefício líquido maior do que o obtido com uma viagem a qualquer outra zona. Tal hipótese, em termos práticos, equivale a dizer que, havendo n alternativas de viagem, a escolhida será aquela que proporcionar maior valor da utilidade.

Assumindo que o número n_j de alternativas de viagens para a zona j é proporcional a uma grandeza A_j que representa a atratividade da zona j , Cochrane apresenta a função de probabilidade acumulada da utilidade u :

$$\phi(u) = \exp[-\beta A_j e^{-\lambda(u-m)}] \quad (3.44)$$

onde:

$\phi(u)$ é a probabilidade de a utilidade de uma viagem com destino j ser menor ou igual a u ;

A_j é uma medida da atratividade da zona j ;

u é a utilidade;

β, λ, m são constantes;

Para determinar o benefício líquido alcançado por um indivíduo que realiza uma viagem a partir da zona i , com destino à zona j que lhe proporciona maior benefício líquido, o autor define:

$$S_{ij} = u_i - C_{ij} \quad (3.45)$$

onde:

S_{ij} é o benefício líquido;

u_i é a máxima utilidade que pode ser obtida por uma viagem a partir da zona i ;

C_{ij} é o custo generalizado de viagem entre i e j ;

Substituindo em (3.44) o valor obtido para u em (3.45), a função de distribuição de S_{ij} é dada por:

$$\phi_{ij}(S) = \exp(-\beta A_j e^{-\lambda(S-m+C_{ij})}) \quad (3.46)$$

A probabilidade de ocorrer um benefício líquido S numa viagem entre i e j é igual à probabilidade $\phi_{ij}(S)$ de ocorrência de S , vezes as probabilidades de o benefício líquido observado para qualquer outra zona não exceder S . Assim:

$$f_{ij}(S)dS = \phi_{ij}(S) \cdot \prod_{i \neq j} \phi_{ij}(S) dS \quad (3.47)$$

Substituindo (3.46) em (3.47) e realizando as integrações (ver Cochrane, 1975, pág 47), obtém-se a probabilidade p_{ij} de que uma viagem originada em i seja destinada para j :

$$p_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} f_{ij}(S) dS = \frac{A_j \exp(-\lambda C_{ij})}{\sum_j A_j \exp(-\lambda C_{ij})} \quad (3.48)$$

Como o número total de viagens que se origina na zona i é O_i , o número esperado de viagens que se destinam da zona i para a zona j é dado por:

$$T_{ij} = \frac{O_i A_j \exp(-\lambda C_{ij})}{\sum_j A_j \exp(-\lambda C_{ij})} \quad (3.49)$$

o que equivale ao modelo gravitacional simplesmente restrito.

O modelo gravitacional duplamente restrito também foi deduzido por este método e pode ser visto em Cochrane (1975) pág 39.

CAPÍTULO 4

TÉCNICAS DE PREFERÊNCIA DECLARADA

4.1 - Introdução

De forma geral, a manifestação das preferências dos indivíduos em relação a um certo produto ou serviço reflete o seu comportamento frente a um conjunto de opções disponíveis. Alguns eventos permitem identificar claramente os componentes da ação do usuário em relação a um determinado produto ou serviço. Assim, quando um cliente se dirige a uma loja para adquirir um produto, é possível registrar seus dados sócio-econômicos relevantes, tais como, sua renda, seu grau de instrução, sua faixa etária e também, por outro lado, as características do produto adquirido e as formas de pagamento. Uma vez realizada a compra os dados refletem o real comportamento do usuário frente ao leque de opções disponíveis.

No caso de serviços (como é o caso das escolas), os atributos envolvidos são mais difíceis de serem identificados, e a utilização deste serviço pode se dar ao longo do tempo e não em um momento específico como é o caso da compra do produto. Mas, ainda assim é possível analisar e compreender o comportamento do usuário. No entanto, o comportamento real deste usuário pode não ser suficiente para analisar os fatores que caracterizam este serviço. Uma forma de contornar estas limitações é a realização de pesquisas envolvendo a preferência dos usuários.

Métodos bastante usados para a obtenção de informações relevantes junto aos usuários, especialmente de serviços públicos, são as técnicas de Preferência Revelada e Preferência Declarada.

As técnicas de Preferência Revelada baseiam-se na obtenção de dados que caracterizam decisões reais tomadas por usuários do serviço a ser analisado. A técnica busca identificar as decisões tomadas pelos usuários a partir de entrevistas que investigam sobre os serviços recentemente utilizados. Esta técnica apresenta algumas limitações no que concerne à identificação das decisões de usuários frente à situações inéditas. Deste modo, a técnica não é

adequada para a definição de estratégias de planejamento como é o caso, por exemplo, da localização de uma unidade adicional, da implementação de mudanças no atendimento nas unidades existentes ou da implantação de novos serviços. Com base nestas limitações, assume importância o papel da técnica de Preferência Declarada. Esta envolve as preferências dos indivíduos e estima o seu comportamento através de modelos de escolha.

Este tipo de enfoque permite analisar algumas situações hoje não existentes, e identificar características do sistema em estudo que sejam relevantes para o usuário. Por outro lado, possibilita melhor explorar as combinações dos atributos e sua variabilidade, uma vez que nos permite conhecer a importância relativa de cada atributo selecionado. Deste modo torna-se possível configurar situações para o serviço analisado bem próximas dos interesses dos usuários.

Os métodos de preferência declarada estão sendo largamente utilizados em estudos de mercado de vários setores, visando identificar preferências sobre opções alternativas, bem como determinar a importância relativa de atributos.

Um dos pioneiros da aplicação de técnicas de preferência declarada no Brasil é Novaes (Novaes e Carvalho, 1994; Novaes, 1995; Novaes et al, 1996; Schmitz, Novaes e Souza, 1998), utilizando o método para analisar serviços de transporte e para determinar o nível de serviços portuários, muito embora o autor tenha orientado trabalhos de alunos de mestrado e doutorado aplicados às mais diversas áreas (Bastos, 1994; Constantino, 1997; Efrón, 1994).

A intenção ao abordar, neste capítulo, os problemas de determinação de preferências através da técnica de preferência declarada é a de estabelecer bases teóricas para a incorporação deste tipo de informação nos problemas de localização de unidades escolares.

4.2 - Conceito

A definição mais freqüente na literatura da última década para o termo *técnicas de preferência declarada* é atribuída a Kroes e Sheldon (1988) que definiram estas como sendo uma família de técnicas, que utilizam respostas individuais a respeito da preferência dos entrevistados, em um conjunto de opções, para estimar uma função utilidade.

A técnica de preferência declarada é baseada em entrevistas nas quais apresenta-se ao entrevistado um conjunto de opções, que são cenários ou alternativas hipotéticas, construídas pelo pesquisador. O entrevistado, mediante um leque de opções, registra suas preferências. Os dados coletados são processados por modelos estatísticos que ajustam os parâmetros de forma a definir uma função utilidade.

4.3 - Características da técnica de preferência declarada

A técnica de preferência declarada pode ser vista como uma interação entre um método de pesquisa e uma teoria comportamental (Novaes et al, 1996). Os paradigmas usados para a modelagem do comportamento das pessoas não estão preocupados com a teoria comportamental por si só, mas com métodos que possam ser usados para testar aspectos desta teoria. As técnicas de preferência declarada permitem aos pesquisadores que estudem e modelem aspectos do comportamento dos usuários relativos à avaliação e escolha dentre os produtos e serviços disponíveis para os mesmos.

Um dos principais objetivos de experimentos de preferência declarada é construir um conjunto de opções hipotéticas porém realistas, denominadas por Ortúzar (1994) de alternativas tecnologicamente possíveis. É preciso que estas alternativas conservem características realistas para que possam ser facilmente imaginadas pelos entrevistados.

As principais características da técnica de preferência declarada são:

- o entrevistado é submetido a uma série de escolhas; o conjunto de alternativas é construído de tal forma que considere os principais fatores que influenciam o problema de escolha relativo ao problema em estudo;
- o conjunto de opções apresentado ao entrevistado consiste em alternativas hipotéticas, que não fazem parte do conjunto atual de alternativas, mas se aproximam o máximo possível da realidade;
- cada alternativa é representada por um conjunto de atributos que identificam o produto ou o serviço; o pesquisador deve incluir no experimento aqueles atributos que mais identificam o produto ou o serviço analisado; a identificação destes atributos pode ser realizada através de uma pesquisa prévia com a população onde será aplicado o conjunto de opções;

- os níveis dos atributos em cada alternativa são especificados pelo pesquisador e apresentados ao entrevistado na forma de opções de escolha; o número de níveis considerados deve ser o maior possível para que o pesquisador possa distinguir até quando os indivíduos estariam dispostos a trocar uma opção pela outra; no entanto, a quantidade de níveis não deve ser muito numerosa, pois isto tornaria o desenho do experimento muito mais difícil e, poderia prejudicar o processo de escolha;
- o conjunto de alternativas é definitivamente especificado baseando-se em um projeto experimental;
- os indivíduos podem informar as suas preferências com relação às alternativas de três formas: colocando-as em ordem de preferência (ranking), submetendo-as a uma escala de avaliação (rating) ou escolhendo a opção preferida do conjunto de alternativas disponíveis (choice);

4.4 - Função Utilidade

O princípio básico dos modelos de escolha discreta enuncia que a probabilidade de um indivíduo fazer uma certa opção é função de suas características sócio-econômicas e da atratividade da alternativa em questão em comparação a outras (Ben-Akiva e Lerman, 1985).

Para representar a atratividade de uma alternativa em comparação a outras, pode ser utilizado o conceito de utilidade. A utilidade representa o benefício líquido que um indivíduo percebe quando consome seus recursos em diferentes bens ou serviços (ver por exemplo Ben-Akiva e Lerman, 1985).

A quantificação da utilidade por meio de expressões matemáticas origina a *função utilidade*. Esta função exprime matematicamente as preferências manifestadas e pode ser usada para representar o nível de satisfação alcançado pelo indivíduo ao utilizar-se de bens e serviços. Os valores desta função utilidade permitem estabelecer uma comparação entre a utilidade proporcionada pelas diferentes unidades do sistema que oferecem o serviço.

Neste contexto podemos citar o estudo desenvolvido por Lankford et al (1995) sobre a escolha de escolas de 1^o e de 2^o graus pelos usuários. O estudo faz uma análise de como as

características das escolas, dos estudantes e de suas famílias influenciam o processo de escolha da escola. A utilidade U_{mj} da escola j para o usuário m é dada por:

$$U_{mj} = U(E_j, S_m, C_{mj}, \varepsilon_{mj}) \quad (4.1)$$

onde:

E_j é um vetor de características relevantes da escola j ;

S_m é um vetor de características sócio-econômicas do usuário m (sexo, idade, renda, local de residência, etc);

C_{mj} é um vetor que contém os outros serviços procurados pelo usuário m próximo da localização da escola j (trabalho, serviços médicos, etc);

ε_{mj} é um escalar introduzido para representar características não incorporadas nos itens anteriores (componente aleatória);

Os autores assumem que o usuário m vai escolher a escola j se, e somente se,

$$U_{mj} > U_{mk} \text{ para todo } k \in K \text{ e } k \neq j, \quad (4.2)$$

onde K é o conjunto de escolas disponíveis.

4.4.1 - Função utilidade e preferência declarada

Nos métodos de preferência declarada a função utilidade é introduzida com objetivo de decompor as preferências admitidas dos entrevistados em pequenas utilidades para cada atributo selecionado do sistema em estudo. Assim, pode-se estabelecer o efeito relativo de cada atributo na utilidade total. Pode-se assumir que os entrevistados escolhem uma combinação de atributos que maximize a sua utilidade. As variáveis da função utilidade podem ser discretas ou contínuas. A configuração comumente utilizada para a função utilidade, segue um modelo linear aditivo (Ben Akiva e Lerman, 1985) cuja forma matemática é dada por:

$$U_{in} = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{ink} \quad (4.3)$$

onde:

U_{in} é a utilidade da alternativa i para o indivíduo n ;

X_{ink} é o valor do atributo k para a alternativa i para o indivíduo n ;

β_k é o coeficiente do modelo para o atributo k ;

K é a quantidade de atributos das alternativas;

Como podemos ver em Ben-Akiva e Lerman (1985), os coeficientes da função podem ser usados para objetivos distintos, tais como:

- determinar a importância relativa dos atributos incluídos no experimento;
- determinar valores de tempo;
- especificar a função utilidade para modelos de predição;
- obter o valor da função utilidade;

É importante observar que este tipo de função é compensatória, à medida que pode-se manter o mesmo nível de utilidade alternando-se dois atributos.

A função utilidade assim definida baseia-se em algumas premissas básicas, a saber:

- consistência: sob condições idênticas a probabilidade de escolher-se uma certa alternativa não deve se alterar;
- transitividade: se compararmos duas alternativas i e j , através de suas utilidades e, depois compararmos as alternativas j e k , a seguinte afirmativa deve ser verdadeira: se a alternativa i é melhor que a alternativa j e a alternativa j é melhor que a alternativa k , então a alternativa i é melhor que a alternativa k ;

Em 1927, Thurstone (citado em Louviere, 1988) desenvolveu uma teoria visando modelar comportamentos dominantes num contexto de comparação par a par. Segundo esta teoria, os usuários tentam escolher as alternativas que consideram mais importantes entre as que lhes são apresentadas. No entanto, em virtude de fatores, principalmente sócio-econômicos, os indivíduos nem sempre adquirem o produto ou o serviço que mais lhes agrada, ou seja, que lhes parece a melhor alternativa. Estas flutuações no comportamento podem ser incorporadas na função utilidade através de uma componente aleatória.

Neste contexto, a função utilidade definida pela equação (4.3) representa uma forma simplificada para modelagem da utilidade, considerando que os indivíduos podem exibir inconsistência em sua conduta ou levarem em consideração fatores que não foram percebidos

pelo pesquisador. Para superar estas limitações, a base teórica mais comum, paradigma da geração de modelos de escolha discreta, é a Teoria da Utilidade Aleatória, mediante a inclusão de um termo associado ao erro na função, relativo a particularidades dos indivíduos desconhecidas pelo modelador. Assim, a função utilidade é definida como a soma de uma componente determinística, relativa aos dados observados e, uma componente aleatória relativa aos elementos não observados.

Temos então:

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (4.4)$$

onde:

U_{in} é a utilidade da alternativa i para o indivíduo n ;

V_{in} é a parcela determinística da alternativa i para o indivíduo n ;

ε_{in} é a parcela aleatória associada a alternativa i ;

Segundo Ben- Akiva e Lerman (1985) as principais causas da aleatoriedade na função utilidade são relativas a atributos não observados, variações de comportamento não observadas e às informações imperfeitas.

Em geral pode-se assumir que os indivíduos selecionam a alternativa com maior utilidade. No entanto, as utilidades são tratadas como variáveis aleatórias. Assim a escolha da alternativa é tratada como uma probabilidade. Adota-se então o seguinte procedimento: define-se C_n o conjunto de alternativas apresentadas ao indivíduo n ; assim, a probabilidade de escolha da alternativa i é igual a probabilidade da utilidade da alternativa i ser maior ou igual a utilidade de todas as outras alternativas no conjunto de escolha C_n ; podemos escrever então:

$$\begin{aligned} P(i / C_n) &= P[U_{in} \geq U_{jn}, \forall j \in C_n] \\ &= P[V_{in} + \varepsilon_{in} \geq V_{jn} + \varepsilon_{jn}, \forall j \in C_n] \\ &= P[V_{in} - V_{jn} \geq \varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in} \forall j \in C_n] \end{aligned} \quad (4.5)$$

A parcela determinística da utilidade é definida como uma função do conjunto de atributos (variáveis) da alternativa. Para modelar esta parcela o pesquisador deve identificar todas as variáveis e determinar como estas variáveis se combinam para influenciar na decisão. A regra de combinação é a expressão matemática que relaciona as variáveis e o comportamento de escolha. A função mais frequentemente utilizada é a função linear aditiva. Desta forma podemos escrever:

$$V_{in} = \sum_{k=1}^K \beta_k X_{ink} \quad (4.6)$$

onde:

$X_{ink} = [X_{in1}, X_{in2}, \dots, X_{inK}]$ é o vetor dos K atributos da alternativa i para o indivíduo n ;

$\beta = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K]$ é um vetor dos K parâmetros desconhecidos a serem calibrados;

Percebe-se assim que para obter o valor da função utilidade é necessário estimar os parâmetros, associados aos atributos que explicam hipoteticamente o comportamento do indivíduo. Por outro lado, é necessário conhecer a distribuição de probabilidade da parcela aleatória ou da diferença das parcelas. Uma variedade de modelos de probabilidade discreta podem ser formulados dependendo da distribuição de probabilidade assumida. Segundo Ben-Akiva e Lerman (1985), uma forma bastante adequada é assumir que os termos ε_{in} são independentes e identicamente distribuídos segundo uma *f.d.p. Gumbel* e então as probabilidades podem ser determinadas por um modelo de escolha discreta conhecido como Modelo Logit Multinomial.

4.5 - Etapas de um experimento de preferência declarada

Um estudo utilizando técnica de preferência declarada envolve os seguintes procedimentos:

- a definição do método de entrevistas;
- a seleção da amostra;
- análise da forma e complexidade do experimento;
- a medição da escolha;
- a análise dos dados.

4.5.1 - Definição do método de entrevistas

A literatura consta de diferentes formas utilizadas para obter as preferências dos usuários. Os métodos mais utilizados pelos pesquisadores para a realização das entrevistas são:

- **face-a-face:** as entrevistas são realizadas pessoalmente junto ao indivíduo; neste caso, as alternativas são, geralmente, apresentadas sob a forma de cartões, sendo solicitado ao entrevistado avaliar uma série deles, cada um representando um cenário idealizado de combinações de níveis dos atributos; uma vantagem deste tipo de pesquisa é o entrevistador poder explicar qual a verdadeira finalidade da pesquisa e administrar a sua aplicação; outra vantagem é que fica assegurada uma alta taxa de retorno; as desvantagens deste método são a necessidade de entrevistadores experientes e o alto custo da pesquisa;
- **questionários auto-explicativos:** neste método as pesquisas são remetidas aos entrevistados via correio, fax, internet, etc; estes fazem a sua escolha e enviam as respostas; as desvantagens são relativas à baixa taxa de retorno dos questionários e à simplificação que deve ser introduzida nas questões; as vantagens são o custo reduzido, a possibilidade de atingir um percentual maior da amostra e o fato de que deixando-se o questionário com o entrevistado, este terá mais tempo para definir sua escolha e pode levantar aspectos não considerados nas entrevistas face-a-face;
- **método híbrido:** neste método os questionários, considerados como material de estímulo, são enviados para os entrevistados antecipadamente via correio, fax, internet, etc, e, posteriormente as entrevistas são conduzidas por telefone; este método pode aumentar a taxa de retorno, no entanto, exige entrevistadores capacitados para realizar a entrevista por telefone;

4.5.2 - Seleção da amostra

A seleção da amostra pode ser feita de diferentes formas. No entanto, existem alguns pontos que são comuns e que devem ser levados em consideração, a saber:

- a amostra deve ser retirada aleatoriamente da população ou de um grupo que esteja diretamente envolvido no processo;
- para fazer parte da amostra não é necessário que os indivíduos tenham vivenciado as opções apresentadas, no entanto, para maximizar o realismo do experimento, os entrevistados devem conseguir vivenciar a situação apresentada o máximo possível;

4.5.3 - Forma e complexidade do experimento

Com relação à forma e complexidade do experimento, inicialmente, devem ser tomadas decisões, à respeito de que atributos e quantos níveis de cada um devem ser incluídos. A inclusão de mais atributos garante que um grande número de fatores estejam presentes no experimento, e quanto mais níveis são usados, melhor serão avaliadas as diferentes respostas. Entretanto, quanto maior for o número de atributos e níveis, maior será a complexidade da tarefa dos entrevistados, podendo, rapidamente, tornar-se inviável.

O número total de alternativas que podem ser definidas é função do número de atributos e de seus níveis. Entretanto, os entrevistados podem, somente, avaliar um número limitado de alternativas ao mesmo tempo. Deste modo, só poderão ser incorporadas todas as combinações possíveis (*fatorial completo*) se existir um pequeno número de atributos e de níveis.

Quando um experimento fatorial completo gera muitas alternativas, o número pode ser reduzido pela adoção de um experimento *fatorial fracionário*. Ou seja, somente uma seleção de todas as combinações possíveis é apresentada aos entrevistados. Se, ainda assim, o número de alternativas for muito grande, pode-se dividir em blocos menores. O bloco a ser apresentado ao entrevistado deve ser extraído aleatoriamente do conjunto de blocos disponíveis.

A forma de apresentar ao entrevistado os atributos e seus respectivos níveis também é muito importante. Um método considerado bastante eficaz e que é muito utilizado é a representação das alternativas através de cartões. Neste caso deve-se dar considerável atenção à qualidade gráfica destes cartões, incluindo, sempre que possível figuras que auxiliem a compreensão por parte do entrevistado.

4.5.4 - A medição da escolha

Os entrevistados podem ser inquiridos para registrar suas preferências de várias formas. As mais usadas são:

- Ordenação (ou ranking): neste caso é apresentado ao entrevistado um grupo de alternativas geralmente sob a forma de cartões, e este, vai ordená-las segundo suas preferências; neste caso, os cartões devem ser apresentados numa seqüência aleatória ao entrevistado e este

escolhe a alternativa que mais lhe agrada; este cartão é então retirado do conjunto e o entrevistado escolhe sua segunda opção, e assim sucessivamente;

- **Avaliação:** neste método respostas individuais são dadas para cada alternativa; as respostas podem ser interpretadas como uma mensuração da utilidade de cada alternativa; usualmente a avaliação é representada por uma preferência relativa entre duas alternativas numa escala semântica de desejabilidade ou probabilidade de escolha. Assim, por exemplo, dadas as alternativas i e j , o entrevistado: definitivamente escolhe a opção i ou provavelmente escolhe a opção i , é indiferente, provavelmente escolhe a opção j ou definitivamente escolhe a opção j ;
- **Escolha:** apresentam-se várias alternativas ao entrevistado e este escolhe a preferida.

A utilização de cartões, onde cada cartão representa uma alternativa, e a ordenação destes pelo entrevistado, segundo suas preferências, é o método bastante comum entre os pesquisadores atuais que defendem a idéia de que os indivíduos têm mais facilidade para ordenar as alternativas do que, através de uma tarefa de avaliação, conceder graus de preferência às mesmas (Novaes, 1995; Novaes e Carvalho, 1994; Bastos, 1994; Constantino, 1997, Almeida e Lobo, 1999). No entanto, a seleção do método a ser utilizado está diretamente relacionada com a análise dos dados.

4.5.5 - Análise dos dados

A análise dos dados é uma etapa de grande importância dentro da técnica de preferência declarada. Os métodos para análise dos dados têm estado em evolução constante. As técnicas de estimação dos parâmetros mais utilizados são:

- **Análise de regressão múltipla:** esta técnica requer dados de avaliação, os quais são usados como variáveis dependentes; como resultado final obtém-se a importância relativa de cada atributo;
- **modelo logit multinomial:** este é o método mais utilizado para estimar os modelos de escolha a partir de dados de preferência declarada e, pode ser aplicado a qualquer tipo de medida de preferência, seja avaliação, ordenação ou escolha; tendo em vista que no experimento de preferência declarada desenvolvido neste trabalho usamos este modelo, vamos descrevê-lo na seção a seguir.

4.6 - Modelo logit multinomial

A modelagem da estrutura da decisão dos usuários é normalmente feita tendo por base o modelo Logit (ver por exemplo Senna, 1992). Partindo-se da idéia de que a parcela aleatória da função utilidade é regida por uma distribuição de Gumbel, chega-se ao modelo Logit Multinomial (Ben-Akiva e Lerman, 1985) dado pela expressão:

$$P_n(i) = \frac{\exp(V_{in})}{\sum_{j \in C_n} \exp(V_{jn})} = \frac{\exp(\beta_i X_{in})}{\sum_{j \in C_n} \exp(\beta_j X_{jn})} \quad (4.7)$$

onde:

$P_n(i) = P(i / C_n)$ é a probabilidade da alternativa i ser escolhida pelo indivíduo n dentro de um conjunto C_n ;

Quando o número de alternativas é igual a dois, temos o caso particular, denominado modelo logit binomial.

O método de calibração dos parâmetros do modelo mais freqüentemente utilizado baseia-se no procedimento estatístico de maximização da função de verossimilhança.

4.7 - Ajuste por Máxima Verossimilhança

O ajuste por máxima verossimilhança tem por objetivo obter, a partir de uma amostra, estimativas para os parâmetros, de tal forma que a amostra observada tem máxima semelhança com o evento ocorrido.

Dada a função densidade de probabilidade $f(X, \beta)$, um conjunto de valores $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ e $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ o conjunto de parâmetros a estimar, a função de verossimilhança é dada por:

$$L(\beta) = \prod_{n=1}^N f(X_n, \beta) \quad (4.8)$$

onde N é o número de observações. O objetivo é determinar $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ que maximize a função $L(\beta)$.

4.8 - Modelo Logit Explodido

O modelo logit explodido é utilizado quando o método de pesquisa de preferência declarada envolve o ordenamento de alternativas em um conjunto de opções. Supondo que o conjunto de escolha C_n possui um número de J alternativas, o desdobramento do processo de escolha em $J-1$ decisões independentes por parte de cada entrevistado, como se fossem escolhas feitas por diferentes entrevistados, leva ao modelo logit explodido (Ben-Akiva e Lerman, 1985).

Para explodir a informação contida nos dados ordenados com J alternativas é necessário, primeiramente, considerar as ordens de escolha. Se as probabilidades de escolha seguem o mesmo modelo logit, a probabilidade de observar uma ordem de classificação para a alternativa 1 ser preferida a 2, a alternativa 2 a 3, e assim por diante, é dado pelo produto de $J-1$ funções do modelo logit multinomial:

$$P_n(1,2,\dots,j) = \prod_{i=1}^{J-1} \frac{\exp(\beta X_{in})}{\sum_{j=1}^J \exp(\beta X_{jn})} \quad (4.9)$$

Se foram feitas N observações de dados ordenados, a função verossimilhança para um modelo logit é dada por:

$$L^*(\beta) = \prod_{n=1}^N \prod_{i=1}^{J-1} \frac{\exp(\beta X_{in})}{\sum_{j=1}^J \exp(\beta X_{jn})} \quad (4.10)$$

Tendo em vista que a função exponencial é monótona crescente, o ponto que maximiza L^* também maximiza $\ln(L^*)$. O logaritmo neperiano da função verossimilhança a ser maximizada é dado pela expressão:

$$L(\beta) = \ln(L^*(\beta)) = \sum_{i=1}^{J-1} \sum_{n=1}^N [\beta X_{in} - \ln \sum_{j=1}^J \exp(\beta X_{in})] \quad (4.11)$$

Este modelo é referido como modelo logit explodido porque a função log-verossimilhança é um somatório das log-verossimilhanças do modelo logit multinomial de todas as decomposições dos dados expandidos. A ordenação deve ser construída em ordem decrescente de preferência para cada entrevistado. Falhas nesse sentido podem invalidar os resultados do modelo.

CAPÍTULO 5

ACESSIBILIDADE

5.1 - Introdução

O processo de deslocamento de pessoas, especialmente em ambientes urbanos, é bastante complexo. A distribuição espacial das atividades e o sistema de transportes são a mola mestra deste processo, tendo em vista a ótica de que as viagens acontecem porque existe uma separação espacial entre as pessoas e as atividades de que elas desejam participar.

Deste modo, para analisar adequadamente o fenômeno de circulação das pessoas e sua relação com o desenvolvimento urbano, é importante que sejam considerados aspectos relativos à distribuição espacial das atividades bem como características estruturais da rede de transportes. Segundo Lindemann et al (1998), se estes aspectos não são considerados de forma conjunta com antecedência e têm suas conseqüências avaliadas em termos de planejamento, a melhoria advinda das novas medidas de intervenção pode, em pouco tempo, fracassar no seu objetivo de aumentar e facilitar a comunicação entre áreas urbanas.

A interação entre transporte e uso do solo influencia as possibilidades de acesso físico dos cidadãos às atividades urbanas e interfere na qualidade de vida da população. Por outro lado, o maior ou menor grau de acessibilidade dos indivíduos às atividades constitui um elemento que possibilita mais ou promove menos o desenvolvimento sócio econômico e cultural de uma região urbana.

Neste contexto, o conceito de acessibilidade está relacionado com a disponibilidade de oportunidades oferecidas ao indivíduo pela sistema de transporte e pelo conjunto de atividades disponíveis na sociedade e pode ser interpretado como uma medida das dificuldades enfrentadas para superar a separação espacial entre o indivíduo e as atividades sociais.

Estudos recentes têm demonstrado que a análise da variação da acessibilidade de certos segmentos populacionais urbanos às áreas com intensas atividades sócio-econômicas, culturais

ou recreativas, constitui um procedimento valioso para se medir o impacto das intervenções sobre a rede de transportes ou sobre o sistema de serviço em estudo (Arruda, 1997; Sales Filho, 1997; Talen Anselin e 1998; Gutiérrez et al, 1998; Bruinsma e Rietveld, 1998). Esta variação pode ser avaliada de forma quantitativa pelos chamados *indicadores de acessibilidade*.

Neste capítulo, abordamos a evolução do conceito de acessibilidade e sua importância no contexto sócio-econômico urbano e, a seguir, fazemos uma revisão dos diferentes indicadores de acessibilidade definidos. A partir desta pesquisa podemos avaliar a evolução destes indicadores quanto aos parâmetros utilizados e suas respectivas expressões matemáticas.

5.2 - Conceito

A acessibilidade, embora seja um conceito bastante intuitivo, é difícil de ser medida objetiva e eficazmente. Sua aplicação no Planejamento Urbano e de Transportes tem sido amplamente difundida. No entanto, outras áreas de conhecimento como Marketing e Geografia também têm aplicado, de alguma forma, este conceito.

A evolução do conceito de acessibilidade pode ser percebida na literatura, podendo envolver conotações singulares de distância entre pontos de uma área urbana, até uma conceituação mais elaborada e complexa que leva em conta outros parâmetros e um grande número de restrições ao acesso à uma atividade por um indivíduo.

A definição originalmente sugerida por Hansen em 1959 (Hansen, 1959) de “potencial de oportunidades de interação” tem sido interpretada de diversas formas, podendo ser vista como a simples “proximidade física entre dois lugares” (Ingram, 1971) ou, representar “as facilidades de acesso de uma região da cidade em relação às demais, levando em consideração a atratividade de cada região e os custos de viagem” (Bruinsma e Rietveld, 1998) e chegar até a significados mais abrangentes que envolvem a “liberdade de escolha e ação de um indivíduo no sentido de tomar parte em diferentes atividades disponíveis no seu espaço comportamental”(Burns, 1979).

Nos muitos conceitos usados para acessibilidade, as variações estão, em geral, relacionadas com fatores tais como:

- A forma de medir a atratividade de cada região envolvida na área de estudo.
- O uso de um único modo de transporte ou a possibilidade de envolver modos diferentes de transporte na análise do acesso às atividades.
- A forma de medir os custos de viagem.
- A análise de viagens com determinado propósito. Esta é, segundo Bruinsma e Rietveld (1998), uma alternativa bastante viável, tendo em vista que a valorização dos custos de viagem varia muito em relação ao propósito da viagem do indivíduo. Além disso, neste enfoque é possível definir a atratividade de cada região com bastante precisão e relacionada com o motivo da viagem.

Nos enfoques convencionais, para analisar a questão da acessibilidade, o problema do transporte urbano é relacionado com a realização das viagens dos indivíduos e com os fluxos em redes, ignorando, muitas vezes, os diversos fatores que originam estas viagens. No entanto, enfoques alternativos têm sido abordados.

Janelle (1969) introduziu a acessibilidade como o produto de um sistema de atividades amplamente concebido, incluindo as possíveis formas através das quais os indivíduos, domicílios, instituições e empresas procuram realizar suas atividades diárias e interagir uns com os outros na área de estudo, no tempo e no espaço.

Para Mackiewicz e Ratajczak (1996), o nível de acessibilidade das diferentes regiões de uma área urbana pode orientar um processo de reorganização espacial, integrando planejamento dos transportes e desenvolvimento tecnológico com uso do solo. Neste contexto, o planejamento do espaço como um todo leva em consideração regras sociais, econômicas e políticas, visando estabelecer um padrão de acessibilidade desejado. O tempo gasto nas várias atividades, o tempo programado para as viagens, a seqüência de atividades no dia de uma pessoa, além de fatores que limitam a liberdade de ação do indivíduo no tempo e no espaço podem ser levados em conta na definição deste padrão. A Figura 5.1 representa um esquema deste processo.

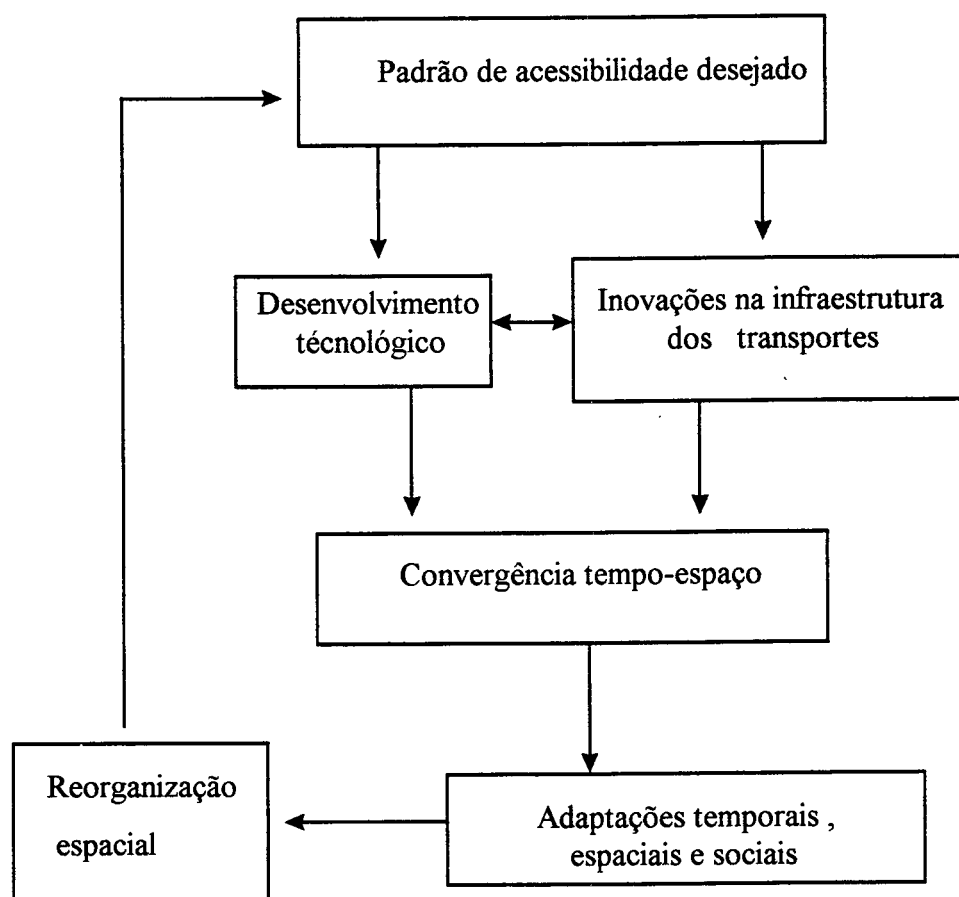


Figura 5.1 - Reorganização espacial
 Fonte: Mackiewicz e Ratajczak (1996) (adaptação)

A abordagem dos problemas de Planejamento Urbano e de Transportes dentro de um contexto econômico tem merecido a atenção dos pesquisadores da área, conforme já observamos na seção 3.6 deste trabalho. O uso da acessibilidade como um conceito microeconômico também é investigado, especialmente a partir da década de 70. Neste caso, a fundamentação teórica está baseada na Teoria da Utilidade. Neste contexto uma medida de acessibilidade é interpretada como a máxima utilidade associada a um conjunto de escolha para um dado indivíduo. No trabalho de Ben-Akiva e Lerman (1978) são apresentadas propriedades do uso de medidas que envolvem a utilidade e sua obtenção através de modelos logit.

Vantagens importantes deste enfoque foram ressaltadas por Martinez em 1992 (ver Arruda, 1997):

- É possível analisar o conjunto de decisões simultâneas que um indivíduo toma diante de opções vinculadas tanto ao sistema de transportes quanto ao sistema de atividades, já que as medidas levam em conta, de modo consistente, a mútua interação entre esses dois sistemas.
- Tendo em vista sua base desagregada (individual), pode-se usá-la para identificar os benefícios produzidos por uma medida de intervenção a um ou mais grupos populacionais específicos da área de estudo.

Levando em consideração estas vantagens, Arruda (1997) elaborou um enfoque de determinação dos ganhos de acessibilidade decorrentes de intervenções de transportes, usando modelagem de escolha discreta. O uso conjunto de dados de preferência declarada e preferência revelada no modelo, permitem a avaliação de políticas hipotéticas e inovadoras. A metodologia foi aplicada pelo autor para a determinação da variação da acessibilidade de grupos de baixa renda às principais zonas de emprego da Região Metropolitana da cidade de Fortaleza, região nordeste do Brasil.

5.3 - Acessibilidade no contexto social e econômico

A relação entre características estruturais da rede de transportes e a distribuição espacial das atividades urbanas tem externalidades sócio-econômicas bastante importantes no que se refere ao processo de desenvolvimento urbano e à qualidade de vida da população. As colocações feitas nesta seção objetivam evidenciar alguns efeitos indiretos da questão da acessibilidade neste processo.

Segundo Salles Filho (1997), congestionamentos crônicos, com a conseqüente degradação generalizada dos níveis de acessibilidade, podem ser associados ao afastamento muito acentuado entre a origem e o destino dos indivíduos nos seus deslocamentos diários, aliado à deficiências de configuração e abrangência do sistema de transporte.

Nos países em desenvolvimento, em geral, e no Brasil, em particular, ainda não são usuais os procedimentos que revelam a variação da acessibilidade, decorrente da implantação de projetos de melhoria.

No entanto, alguns estudos que analisaram a situação destes países, ainda na década de 70, (Popper e Hoel, 1976) já concluíram que a utilização da acessibilidade às oportunidades fornecidas pelo sistema de atividades urbanas, é mais adequada do que a mera redução de congestionamentos, e posterior redução no tempo de viagem, na avaliação de políticas de transporte urbano.

Num contexto mais amplo, as políticas de transporte têm relação estreita com questões sociais tais como: a obtenção de equidade no que se refere ao acesso dos indivíduos às atividades urbanas, a atrofia do desenvolvimento econômico e a dificuldade de absorção do crescimento populacional em algumas regiões; a diminuição da qualidade de vida, se for levado em consideração, por exemplo, a tensão emocional dos usuários de transportes públicos, especialmente em grandes centros; o próprio processo de favelização relacionado com as dificuldades de expansão habitacional enfrentada pelas cidades brasileiras.

O que se pode observar na literatura, (ver CCU \ ANTP, 1989) é que os especialistas da área de transportes, no caso do Brasil, têm se interessado pela questão que diz respeito ao fato de que grupos de baixa renda são praticamente expulsos das áreas mais centrais das cidades, devendo instalar-se em áreas periféricas, em decorrência de processos de especulação imobiliária, que impõe custos inviáveis à permanência destes grupos na área central. No entanto, esta mudança aumenta a demanda de transportes e gera maior tempo de viagem entre residência e atividades básicas do cidadão, tais como trabalho e escola, e a conseqüente queda de produtividade do trabalhador e do desempenho do estudante. Estas comunidades reagem, requisitando um transporte público eficiente e de qualidade. Esta é uma situação onde pode ser percebida a necessidade de compatibilidade entre o setor do Planejamento Urbano relativo ao uso do solo e localização de atividades e o Planejamento de Transportes.

Considerando a dispersão das atividades numa área urbana, há grandes dificuldades em conseguir que todas as partes da cidade tenham o mesmo nível de acessibilidade com relação aos destinos desejados. Neste contexto, parece adequado que a acessibilidade possa ser vista como uma boa medida da equidade espacial entre os diferentes grupos populacionais de uma área urbana, podendo ser usada como um indicador no redirecionamento de políticas de

transporte e de distribuição espacial das atividades urbanas, visando a equalização de oportunidades entre estes grupos.

Estudos diversos têm investigado a questão da equidade na distribuição de serviços públicos fundamentados na análise da acessibilidade dos usuários às unidades (ver Talen e Anselin, 1998). Uma questão metodológica que é abordada na análise da distribuição de serviços públicos diz respeito à verificação de como variações na acessibilidade dos indivíduos podem interferir na avaliação da equidade espacial. Neste contexto, Talen e Anselin esclarecem que as conclusões são extremamente sensíveis à definição da medida de acessibilidade. Assim, os parâmetros selecionados para compor o indicador devem levar em conta características do serviço público que está sendo investigado.

5.4 - Indicadores de acessibilidade

Para avaliar a acessibilidade das diferentes categorias populacionais às atividades são usados os indicadores de acessibilidade. Estes têm sido amplamente utilizados, especialmente para sugerir estratégias nas aplicações de modelos de localização de unidades de serviço, para estimar a escolha modal em sistemas de transportes, para avaliar o nível dos serviços em alguns sistemas, para descrever índices de equidade espacial em ambientes urbanos ou regionais.

Levando em consideração a conceituação, os indicadores de acessibilidade podem ser separados em duas linhas de raciocínio. Uma primeira linha, sugerida por Shimble em 1953 (ver Pooler, 1995), onde é levado em conta apenas a separação espacial entre a origem e o destino. Uma segunda linha, introduzida por Hansen em 1959, (Hansen, 1959) onde, além da separação espacial são incorporados fatores relativos às atividades urbanas.

Os indicadores de acessibilidade definidos dentro da linha apresentada por Hansen, englobam dois aspectos: um fator de separação espacial relativo ao sistema de transportes e um fator relativo às atividades urbanas. A separação espacial reflete a facilidade de viagem entre os diferentes pontos do espaço; é determinado pelas características e pela qualidade do serviço fornecido pelo sistema de transportes, podendo ser medido em termos de distância, tempo ou custos de viagem. O fator relativo às atividades (como é o caso de escolas, hospitais, postos de

saúde, estabelecimentos comerciais, etc) pode ser caracterizado pela localização, capacidade, quantidade ou por aspectos qualitativos das unidades prestadoras de serviço. Muitos autores se referem a este fator como sendo a atratividade de uma unidade particular como um destino de viagem.

Além das duas linhas de raciocínio citadas, onde se incluem a maior parte dos indicadores desenvolvidos, alguns métodos gráficos também são utilizados (ver Januário, 1996).

A inclusão de uma dimensão comportamental na definição de indicadores de acessibilidade foi fortemente indicada por Morris et al (1979) e por Burns (1979). Neste caso, o indicador de acessibilidade deveria englobar, além de características da estrutura da rede de transportes e do sistema de atividades urbanas, elemento relativo ao comportamento dos usuários quando da utilização destas atividades e dos diferentes modos de transporte. A premissa de que os indivíduos procuram reduzir seus custos ou tempos de viagem, ou adotam um procedimento de escolha entre o conjunto de atividades que lhe são disponíveis, são formas sugeridas para incorporar fatores comportamentais. Medidas com fundamentação microeconômica têm sido desenvolvidas visando incluir estes fatores.

A partir dos trabalhos pioneiros de Shimble e Hansen, especialmente à partir da década de 70, uma grande quantidade de estudos e pesquisas vem ampliando consideravelmente a participação e importância atribuídas à noção de acessibilidade urbana dentro do contexto do planejamento integrado entre transporte e desenvolvimento urbanos. Diferentes tipos de indicadores foram sugeridos e as aplicações podem ser percebidas na mais diversas áreas de atividades (Stewart e Warntz, 1958; Morris et al, 1979; Dománsky, 1979; Allen et al, 1993; Mackiewicz e Ratajczak, 1996; Sanches, 1996; Salles Filho, 1997; Lindemann et al, 1998; Gutiérrez et al, 1998; Talen e Anselin, 1998). As medidas mais usuais são baseadas na premissa de que o espaço urbano contém uma variedade de oportunidades disponíveis e que existe uma certa dificuldade em se atingir estas oportunidades. Bruinsma e Rietveld (1998) apresentam um listagem de diferentes indicadores de acessibilidade e suas principais características.

Com o objetivo de observar a evolução dos indicadores de acessibilidade no que se refere aos parâmetros que incorporam e a relação estabelecida entre estes parâmetros, apresentamos uma classificação dos indicadores mais presentes na literatura.

5.4.1 - Medidas de separação espacial

Estes indicadores de acessibilidade consideram apenas a separação espacial observada entre as zonas, omitindo qualquer consideração acerca da atratividade zonal.

- Shimble (1953)

$$A_i = \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (5.1)$$

onde:

A_i é a acessibilidade na zona i ;

d_{ij} é a menor distância entre a zona de origem i e a zona de destino j ;

Esta é a medida originalmente definida por Shimble. Variações desta são encontradas na literatura, substituindo d_{ij} por alguma outra medida de impedância espacial.

- Ingram (1971)

Levando em consideração que os estudos relativos a acessibilidade são, em geral, destinados à áreas extensas e que compreendem várias regiões, Ingram, em 1971, propôs algumas mudanças na definição apresentada por Shimble e introduziu os conceitos de *acessibilidade relativa* e *acessibilidade integral*.

A acessibilidade relativa, definida pelo autor, descreve a relação ou o grau de conexão entre dois pontos quaisquer do espaço, enquanto que a acessibilidade integral, segundo Ingram, descreve a relação ou o grau de interconexão entre um ponto qualquer e todos os demais pontos da área de estudo. Desta forma a acessibilidade relativa seria utilizada para medir o esforço necessário para se superar a separação entre dois pontos, enquanto que a acessibilidade integral pode ser vista como uma medida do esforço para se superar a separação espacial entre um ponto e todos os outros pontos de uma dada área.

Para medir a acessibilidade relativa A_{ij} , da zona de origem i em relação à zona de destino j , Ingram utilizou a forma simplificada:

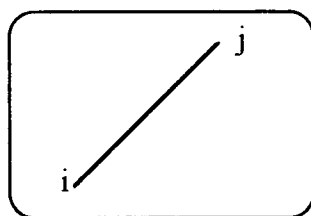
$$A_{ij} = C_{ij} \quad (5.2)$$

onde C_{ij} é representado pela distância (Euclidiana, retangular ou efetiva), tempo de viagem ou custos de viagem entre as zonas i e j . Esta medida pode ser usada para comparar os níveis de acessibilidade entre os diferentes pares (i, j) de origem-destino.

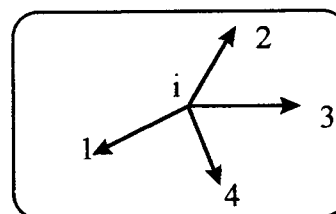
A acessibilidade integral de uma origem i , A_i , foi utilizada por Ingram como sendo a média entre as distâncias, entre os tempos ou custos de viagem da origem i para os n destinos diferentes. Assim:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij}}{n} \quad (5.3)$$

O índice de acessibilidade assim definido pode ser utilizado para comparar o nível de acessibilidade entre as diferentes regiões de uma área de estudo. A Figura 5.2 representa estas definições de acessibilidade.



(a) $A_{ij} = C_{ij}$



(b) $A_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij}}{n}$

Figura.5.2 - (a) Acessibilidade relativa (b) Acessibilidade integral

- Allen et al (1993), dando continuidade ao trabalho de Ingram, propuseram que o índice de acessibilidade para uma região i , seria dado por:

$$A_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n C_{ij} \quad (5.4)$$

onde :

C_{ij} é o tempo de viagem entre i e j ;

n é o número de localidades incluídas na área de estudo;

Convém observar que , segundo as definições de Ingram e de Allen et al, as localidades mais centralizadas terão valores de A_i menores, enquanto às localidades mais afastadas serão atribuídos valores de A_i mais elevados. Neste sentido, o nível de acessibilidade atribuído à população é melhor à medida em que os valores de A_i são menores uma vez que este índice mede diretamente os efeitos contrários às viagens.

A grande limitação destas medidas consiste na não consideração da distribuição espacial das atividades. Elas determinam a acessibilidade apenas como função da separação espacial entre i e j e tampouco consideram características de demanda e oferta como aspectos importantes em seus indicadores.

Vantagens que podem ser enunciadas consistem na simplicidade da forma matemática e na necessidade de poucos dados observados. Suas aplicações, no entanto, são eficazes apenas para análises preliminares, identificando deficiências grosseiras

- Medidas que utilizam o custo médio

Estas medidas se tornaram conhecidas através de Toregas et al (1971) e utilizam o custo generalizado médio das viagens na determinação do nível de acessibilidade de uma região urbana.

O custo médio do sistema e o custo médio de cada zona i para atingir os n destinos são dados, respectivamente, por:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} T_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij}} \quad (5.5)$$

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij} T_{ij}}{\sum_{j=1}^n T_{ij}} \quad (5.6)$$

onde:

C_{ij} é custo generalizado de viagem entre o par (i, j) ;

T_{ij} é o número de viagens (fluxo) entre o par origem-destino (i, j) ;

Diversos autores têm usado o custo médio na análise de sistemas de serviço urbano onde são conhecidos fatores de geração e atração das viagens e o fluxo pode ser determinado através de modelos de distribuição de viagens.

Mayhew e Leonardi (1982) usam um modelo gravitacional simplesmente restrito para analisar sistemas de saúde urbanos e regionais. Neste caso, a acessibilidade de cada zona de origem i é dada por:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n T_{ij} (C_{ij} - \bar{C})^2}{\sum_{j=1}^n T_{ij}} \quad (5.7)$$

Taket (1989) apresenta um estudo onde analisa as conseqüências dos níveis de acessibilidade decorrentes de diferentes estratégias na localização de serviços hospitalares na região de Londres. A simulação de diversas situações para o sistema é feita através de um modelo gravitacional. A acessibilidade de cada zona i , medida em termos do custo médio de viagem atribuído aos usuários do sistema é dada por:

$$A_i = \frac{C_i}{\bar{C}} \quad (5.8)$$

onde:

A_i representa o índice de acessibilidade dos usuários da zona i ;

Valores de A_i superiores a um indicam que os usuários da localidade i têm um custo de viagem superior ao custo médio do sistema; analogamente, valores menores do que um indicam que aos usuários desta localidade se impõe custos inferiores ao custo médio do sistema.

Este índice permite investigar se a distribuição de atividades em estudo atende de forma equitativa à população das diferentes regiões da área de estudo e direcionar os investimentos no sentido de proporcionar equidade entre as diferentes regiões da cidade no que se refere ao nível de acessibilidade (Almeida e Gonçalves, 1996).

5.4.2 - Indicadores que incorporam separação espacial e uma medida de atratividade

Esta classe de indicadores tem como característica fundamental o efeito combinado entre transporte e uso do solo. Neste grupo o precursor é o modelo desenvolvido por Hansen em 1959 e é dado por:

$$A_i = \sum_{j=1}^n kW_j f(C_{ij}) \quad (5.9)$$

onde:

A_i é acessibilidade da zona i ;

W_j é o número de oportunidades da zona j (atratividade da zona j);

$f(C_{ij})$ é uma função de impedância entre as zonas i e j e, é dada por $f(C_{ij}) = \frac{1}{(C_{ij})^2}$;

C_{ij} é a distância entre as zonas i e j ;

k parâmetro a ser calibrado;

n é o número de zonas da área de estudo;

Durante as décadas de 60 e 70 muitos autores propuseram mudanças no modelo (5.9) no que se refere à atratividade dos destinos, à medida de separação espacial e à função de impedância (ver Lindemann et al, 1998; Bruinsma e Rietveld, 1998). A versão mais difundida na literatura (ver Sanches, 1996; Tagore e Sikdar, 1995) considera a impedância como sendo uma função exponencial. Neste caso a acessibilidade é representada pela expressão:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_j \exp(-\beta C_{ij})}{\sum_{j=1}^n W_j} \quad (5.10)$$

onde C_{ij} e W_j são definidos como em (5.9) e β é um parâmetro.

A atratividade está vinculada às oportunidades do destino (número de empregos, número de leitos hospitalares, número de vagas em escolas, etc) e varia dependendo da área de estudo. A separação espacial varia entre distância (distância Euclideana, distância retangular, ou distância efetiva), tempo de viagem e custo de viagem. Na função de impedância a variação mais freqüente é entre função potência e função exponencial. Uma limitação do indicador é a justificativa da função de impedância mais apropriada.

Indicadores com relações matemáticas mais complexas e outros parâmetros envolvidos têm sido definidos, especialmente na última década. O quadro 5.1 apresenta alguns destes indicadores.

Autor	Indicador	Parâmetros
Tagore e Sikdar (1995)	$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n S_j f(t_{ij}) \exp(\lambda M_i)}{\sum_{j=1}^n S_j}$	$S_j =$ nº de oportunidades da zona j $t_{ij} =$ tempo de viagem entre i e j $M_i =$ mobilidade da zona i $f(t_{ij}) = \exp(\alpha t_{ij})$
Salles Filho (1996)	$A_{ij} = ((AO)_i \times (AD)_j)^{\frac{1}{2}} f(c_{ij})$	$(AO)_i =$ atratividade da origem i $(AD)_j =$ atratividade do destino j $c_{ij} =$ tempo de viagem $f(c_{ij}) =$ função de impedância
Gutiérrez et al (1998)	$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{N_{ij}}{E_{ij}} M_j}{\sum_{j=1}^n M_j}$	$N_{ij} =$ é uma medida de impedância entre as zonas i e j $E_{ij} =$ distância Euclideana entre i e j $M_j =$ nº de oportunidades da zona j

Quadro 5.1 - Indicadores de acessibilidade e seus parâmetros

5.4.3 - Outras abordagens

Embora grande parte dos indicadores de acessibilidade encontrados na literatura sejam formulados levando em consideração as linhas de raciocínio citadas, outras abordagens também são usadas por alguns autores.

Lindemann et al (1998) definiram uma medida de acessibilidade viária para representar a acessibilidade em regiões urbanas por meio de veículos particulares (automóveis).

Os parâmetros selecionados pelos autores são: tempo de viagem, número de rotas disponíveis entre a origem e o destino e a capacidade destas rotas. A acessibilidade entre as regiões i e j é dada por:

$$A_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^N c_{ijn}}{1.000} \left(\frac{\sum_{n=1}^N t_{ijn}}{N} \right)^{-1} \quad (5.11)$$

onde:

N = número de rotas entre i e j

t_{ijn} = tempo médio de viagem entre i e j na rota n

c_{ijn} = capacidade média da rota n entre i e j

O índice de acessibilidade desenvolvido foi utilizado pelos autores na definição de um índice de desenvolvimento, estabelecendo uma relação entre desenvolvimento urbano e acessibilidade das regiões.

Nos indicadores com fundamentação microeconômica, fazendo uma abordagem desagregada, a formulação analítico-dedutiva está relacionada com o benefício líquido da viagem percebido pelo indivíduo. Este benefício é medido através de curvas de utilidade. As aplicações permitem a utilização de modelos comportamentais e possibilitam uma boa descrição da questão da acessibilidade na área de estudo.

Nas medidas com representação gráfica destacam-se aquelas que utilizam medidas de contorno ou áreas sob curvas para mensurar a acessibilidade. Citamos aqui o trabalho de Dománski (1979) que, utilizou a acessibilidade como a dimensão espacial da equidade. Este define acessibilidade como o conjunto de possibilidades disponíveis para o indivíduo quando solicita atividades de ordem econômica, social ou cultural e considera que pessoas, famílias ou regiões diferentes não têm o mesmo potencial de acesso a estas atividades. Dománski introduz então o termo *acessibilidade espacial* e, para determinar a acessibilidade de uma dada área, usa uma medida de contorno. Define um limite para “custo generalizado de viagem” e a acessibilidade é expressa em termos do número ou do percentual de atividades relevantes que o usuário pode atingir dentro desse limite. Um exemplo desta medida utilizado pelo autor é: “a área que o indivíduo pode atingir limitando o tempo de viagem em uma hora”; diferentes configurações são apresentadas, considerando os diferentes modos de transporte.

Uma característica de grande parte das aplicações de indicadores de acessibilidade consiste no fato de considerarem, principalmente, as viagens por automóvel. Poucos estudos mencionam especificamente o transporte coletivo e propõe medidas para avaliar a acessibilidade através deste modo de transporte.

Dentre os indicadores que tratam da acessibilidade por transporte coletivo, é freqüente a utilização da oferta como indicador de acessibilidade. Kralich (1996) utiliza o número de lugares oferecidos no transporte coletivo em cada zona para avaliar o nível de acessibilidade desta zona. Bruton (1979) menciona um estudo elaborado em Londres, em que, para determinar o nível de acessibilidade de uma zona, foi utilizado o número de linhas de transporte que servem a zona, a freqüência do serviço e a área da zona.

Sanches (1996), para avaliar a qualidade dos transportes em cidades de médio porte, usou uma medida de acessibilidade do tipo apresentado por Hansen, onde a atratividade das diferentes zonas foi definida como sendo o número de empregos da zona e a impedância espacial foi considerada como sendo o tempo de viagem. O nível de acessibilidade em cada zona foi determinado levando em consideração o tempo de viagem por automóvel e por transporte coletivo.

A literatura que trata do desenvolvimento e da aplicação de indicadores de acessibilidade é bastante ampla. O que se observa é que a definição precisa depende da situação particular em estudo e do ponto de vista do pesquisador. No entanto o que é fundamental é que o indicador possa representar os *efeitos de barreira* decorrentes de restrições administrativas incorporadas nos sistemas de serviços, ou de dificuldades enfrentadas pelo indivíduo para participar das atividades sociais. Deste modo, podem ser utilizados pelos planejadores para avaliar o mérito de propostas alternativas de intervenção na estrutura do sistema em estudo ou na rede de transportes.

O indicador de acessibilidade permite analisar o impacto das decisões adotadas sobre as diferentes regiões de uma área urbana e para os diversos grupos de usuários. Assim, pode orientar as aplicações dos recursos, aumentando a eficácia no uso destes recursos, integrando planejamento dos transportes e localização de serviços.

CAPÍTULO 6

UMA METODOLOGIA PARA ANÁLISE LOCACIONAL

6.1 - Introdução

No capítulo 2 deste trabalho foram apresentadas fundamentações que permitem concluir que o sistema educacional de uma cidade pode ser considerado como instrumento privilegiado para acelerar o desenvolvimento social e econômico. Por outro lado, o seu funcionamento requer uma crescente disponibilidade de recursos. Por tais circunstâncias, o planejamento se impõe no setor educacional como meio de organização, sistematização e controle dos resultados.

Visando estruturar e orientar o processo de planejamento e funcionamento dos sistemas educacionais, é essencial a geração de propostas e sua avaliação, bem como a escolha e implementação de cada decisão com base em modelos apropriados.

A modelagem relativa às atividades urbanas e às viagens dos indivíduos para atingi-las tem feito progressos substanciais. Uma alternativa que pode vislumbrar resultados bastante satisfatórios é a integração entre modelos de interação espacial e modelos comportamentais, já abordados nos capítulos 3 e 4, deste trabalho, respectivamente.

A identificação e avaliação de determinantes do comportamento dos indivíduos relativo à suas viagens e ao processo de escolha das atividades urbanas, tem fundamentações bastante consistentes. A necessidade de prever os efeitos de mudanças no ambiente das viagens e a possibilidade de avaliar os impactos dos projetos levando em consideração uma medida dos benefícios para os usuários como indivíduos e, da sociedade como um todo, são razões que levam a incluir aspectos comportamentais na análise de sistemas de serviços urbanos.

Neste capítulo desenvolvemos uma metodologia que pode ser usada como instrumento auxiliar na modelagem do planejamento de sistemas educacionais, interagindo modelo de escolha discreta com um modelo de interação espacial. O estudo destina-se a redes escolares com

ênfase na análise da distribuição espacial e assentamento das escolas, determinação e estimativas do fluxo de estudantes e na verificação do nível de acessibilidade dos estudantes das diferentes regiões de uma área de estudo, levando em consideração a satisfação dos mesmos com as escolas, associada a aspectos qualitativos bem como à localização destas escolas. O método estabelece mecanismos para a análise de propostas de criação, expansão ou transformação na rede escolar. Através desta metodologia é possível obter resultados significativos sobre a situação atual da distribuição espacial das escolas e a satisfação da população com as mesmas, bem como projetar um sistema educacional mais próximo dos interesses da população.

As preferências dos usuários em relação às características das escolas, incorporadas na modelagem, são obtidas através de técnicas de preferência declarada, onde a quantificação destas preferências é feita por modelos matemáticos configurados através de uma função utilidade.

Se por um lado a educação escolar é um aspecto cultural que merece considerável atenção, por outro lado, esta educação e o acesso à rede escolar são direitos do cidadão. A equalização do potencial de acesso passa assim a ser incluído no planejamento de sistemas escolares. A análise da equidade no acesso dos estudantes às escolas entre as diferentes regiões atendidas por estes sistemas, é relevante neste contexto. Assim, a metodologia envolve a análise do nível de acessibilidade dos diferentes grupos de usuários a partir da conceituação apresentada no Capítulo 5. O indicador usado será desenvolvido na seção 6.6 e está baseado em um fator de separação espacial entre a zona de origem dos usuários e as escolas de destino, bem como na influência de características não espaciais das unidades escolares sobre o escolha da escola pelo usuário.

Uma vez estabelecida a estruturação teórica que fundamenta a metodologia vamos propor algumas estratégias que podem ser de grande valia ao planejador urbano e que sejam compatíveis com a realidade social, política e econômica dentro de níveis bastante realistas.

Visando realizar o estudo segundo a ótica abordada desenvolvemos as seguintes etapas:

- Escolha de um modelo matemático, tendo em vista o objetivo de incorporar na análise do sistema, separação física entre as escolas e a residência dos estudantes, bem como informações dos usuários relativas aos seus interesses e suas preferências em relação às escolas e que influenciam na realização das viagens dos estudantes.
- Definição de uma medida de separação espacial entre as zonas de origem dos usuários e seus respectivos destinos, fator este relativo à separação física entre a escola e a residência dos estudantes.
- Definição de um método para incorporar aspectos relativos ao comportamento de escolha dos usuários no modelo de interação espacial.
- Desenvolvimento de um indicador de acessibilidade que incorpore um elemento de separação espacial entre cada par (i, j) de origem-destino e um fator relativo às influências das características das escolas sobre a distribuição das viagens dos estudantes.
- Aplicação do modelo de interação espacial e do indicador de acessibilidade ao planejamento estratégico de sistemas educacionais.

6.2 Escolha do modelo matemático

A problemática relativa à distribuição dos estudantes entre as escolas de uma área de estudo compreende diversos aspectos, entre eles: a demanda de transportes entre as diferentes regiões de uma área urbana é fortemente influenciada pelos deslocamentos diários de estudantes, especialmente nos horários de pico; a alocação dos estudantes ao estabelecimento escolar representa fonte de preocupação para pais, alunos e órgão gestor; neste contexto, o que se percebe, através de estudos empíricos, é que os usuários escolhem a unidade escolar levando em consideração as características de cada escola em particular, bem como um fator de separação espacial entre estas e suas residências. É adequado que o modelo matemático usado para estimar esta distribuição consiga captar estes aspectos e, sugerir parâmetros associados a cada um dos fatores incorporados.

As suposições estabelecidas por Gonçalves e Ulysséia Neto (1993), citadas em 3.3.3, sobre a relação entre o número de viagens entre cada par origem-destino e as variáveis explicativas para estas viagens, podem ser utilizadas para os sistemas escolares. Assumimos que o número de estudantes que viajam de uma origem i para as escolas da zona de destino j é:

- proporcional à demanda de estudantes residentes em cada zona de origem i ;
- proporcional à capacidade das escolas da zona de destino j ;
- inversamente proporcional a uma medida de impedância associada à separação espacial entre as zonas i e j ;
- inversamente proporcional à uma medida de impedância não espacial, associada às oportunidades intervenientes entre as zonas i e j ;

Deste modo, usamos neste estudo o modelo *gravitacional de oportunidades* duplamente restrito, já apresentado na seção 3.3.3, permitindo a utilização dos dois parâmetros: separação espacial e oportunidades intervenientes, qual seja:

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j \exp(-\lambda W_{ij} - \beta C_{ij}), \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6.1)$$

onde:

T_{ij} é o número de viagens da zona de origem i para a zona de destino j ;

O_i é o número de viagens originadas na zona i ;

D_j é o número de viagens atraídas pela zona j ;

W_{ij} é uma medida do número de oportunidades intervenientes entre as zonas i e j ;

C_{ij} é a distância, tempo de viagem ou custos de transporte entre as zonas i e j ;

λ, β são parâmetros a calibrar;

$$A_i = \left[\sum_j B_j D_j \exp(-\lambda W_{ij} - \beta C_{ij}) \right]^{-1} \quad (6.2)$$

$$B_j = \left[\sum_i A_i O_i \exp(-\lambda W_{ij} - \beta C_{ij}) \right]^{-1} \quad (6.3)$$

Para a aplicação do modelo (6.1) é necessário especificar uma medida para a separação espacial C_{ij} , e, definir um procedimento para determinar as oportunidades intervenientes W_{ij} .

6.3 - Definição de uma medida de separação espacial

O modelo gravitacional de oportunidades (6.1) utiliza uma medida de custo generalizado C_{ij} que pode ser composta por vários elementos possíveis de influenciar a realização das viagens. Segundo Bruton (1979), além da separação física, expressa pela distância Euclidiana, distância retangular ou pela distância efetiva entre cada par origem-destino (i, j) , esta medida pode ser definida considerando também:

- o tempo associado a viagem;
- o tempo de viagem excedente, ou seja, o tempo gasto esperando ou se deslocando até um determinado modo de transporte;
- custos de viagem;
- valor que o viajante associa ao tempo, distância e tempo de viagem excedente;

No entanto, é importante lembrar que, em geral, não se atribui o mesmo valor a este custo generalizado para todos os propósitos de viagem. Pode-se observar, por exemplo, que valores monetários diferenciados são atribuídos ao tempo e aos custos das viagens pendulares para o trabalho e escola e àquelas realizadas por motivo de lazer (ver Bruinsma e Rietveld, 1998).

Neste trabalho o custo generalizado de viagem entre as diversas zonas que compõem uma área de estudo, será caracterizado pelo tempo de viagem. Para isto definimos uma matriz $[C_{ij}]$ onde cada elemento (C_{ij}) representa o tempo de viagem entre a zona de origem i e a zona de destino j . A forma de construir esta matriz vai depender da situação particular em estudo. O modo de transporte (automóvel, ônibus coletivo, transporte escolar, etc) usado para determinar este tempo de viagem, pode ser definido em cada aplicação particular. A inclusão de tempo de espera e tempo de caminhada no tempo de viagem é bastante adequada e constante na literatura (Sanches, 1996).

6.4 - Definição de um método para incorporar aspectos comportamentais dos viajantes no modelo gravitacional de oportunidades

A integração entre o modelo gravitacional de oportunidades (6.1) e modelos que levam em consideração o comportamento dos viajantes é viabilizada através da definição das oportunidades intervenientes entre cada par (i, j) de origem-destino, levadas em conta por este modelo.

Deste modo, a idéia já citada por diversos pesquisadores (ver Arruda e Sanches, 1998), de que a decisão de realizar uma viagem é derivada de uma série complexa de decisões, é também considerada neste trabalho.

A determinação destas oportunidades intervenientes envolve três etapas, a saber:

- A definição de uma medida de oportunidades para as unidades escolares do sistema.
- A definição das unidades intervenientes entre cada par (i, j) de origem-destino.
- A definição da matriz de oportunidades intervenientes $[W_{ij}]$ com $i, j = 1, 2, \dots, n$ onde cada elemento (W_{ij}) representa uma medida do número de oportunidades que se interpõem entre a origem i e o destino j .

6.4.1 - Definição de uma medida de oportunidades

Em geral, na determinação das oportunidades de um destino de viagem, os principais propósitos da viagem devem ser contemplados. Deste modo, as oportunidades de uma zona de destino podem estar relacionadas com características da zona, como por exemplo com o número de empregos disponíveis, com a quantidade de leitos hospitalares, com as vagas escolares, dependendo do sistema em estudo.

As oportunidades disponíveis em cada unidade do sistema de serviço em estudo constituem a atratividade desta unidade.

Considerando que estamos interessados na análise de sistemas educacionais, onde o motivo de viagem é a escola, as oportunidades de cada unidade do sistema estão associadas à capacidade desta unidade escolar. Definimos assim um vetor de oportunidades:

$$[C] = [C_1, C_2, \dots, C_m] \quad (6.4)$$

onde:

m é o número de unidades;

C_l é uma medida da capacidade da unidade escolar l , com $l = 1, 2, \dots, m$;

Se uma zona de destino contém mais do que uma unidade, sua atratividade consiste na soma das oportunidades de todas as unidades desta zona de destino. Assim, dado $S_j = \{\text{Conjunto de escolas da zona } j\}$, uma medida do número de oportunidades da zona de destino j é dada por:

$$\text{Oportunidades da zona } j = \sum_{i \in S_j} C_i$$

6.4.2 - Definição das unidades intervenientes

Para determinar as unidades escolares que se interpõem entre cada par (i, j) de origem-destino, quando da definição das viagens por motivo escola, nós usamos aspectos da Teoria de Utilidade, apresentados no Capítulo 4 e, também já levados em conta na dedução de modelos de interação espacial realizada por Cochrane (1975), conforme apresentamos na seção 3.6. Deste modo, assumimos que os estudantes, na realização das viagens com motivo escolar, escolhem, entre as várias escolas que lhe estão disponíveis, aquela que maximiza a sua utilidade.

Com este objetivo, introduzimos uma função, fundamentada no conceito de utilidade, que será ajustada através da estimação de modelos de preferência declarada que, como já observamos anteriormente, refere-se, em essência, à análise de um comportamento de escolha. Esta função vai quantificar o nível de satisfação (ou a utilidade) que as diversas unidades de uma rede escolar podem proporcionar aos diferentes grupos de usuários, tendo em vista a sua localização e suas características qualitativas. A partir do valor desta função, podemos comparar numericamente a utilidade proporcionada pelos diferentes estabelecimentos escolares e, determinar as escolas que se interpõem entre cada par (i, j) de origem-destino.

Descrevemos a seguir os passos necessários para a obtenção do valor da função utilidade e, definimos o critério utilizado para determinar as escolas intervenientes.

6.4.2.1 - Caracterização da pesquisa

Para incorporar o comportamento dos usuários de um sistema escolar em relação à escolha das viagens por motivo escola, torna-se necessário, primeiramente, uma descrição das principais

características do sistema educacional, e da rede de transportes. O número, características e distribuição espacial das escolas a considerar são definidos o mais detalhadamente possível. Informações sobre a rede de transportes também devem ser conhecidas do modelador. A seguir são delimitados os aspectos do sistema educacional que serão investigados pela pesquisa, entre eles: definição do segmento e escolar a ser analisado (1º grau, 2º grau, ensino superior, pré-escola, etc); definição do grupo social a ser entrevistado (pais, professores, estudantes, comunidade em geral); definição da rede escolar cujos usuários serão investigados (escolas públicas municipais, estaduais, ou a inclusão de escolas particulares); definição de aspectos sociais e econômicos dos usuários que merecem ser investigados (faixa etária, nível de renda, grau de instrução dos familiares, modo de transporte utilizado no deslocamento para a escola, etc).

6.4.2.2- Identificação dos atributos e seus níveis

Nesta etapa devem ser identificados os atributos que sejam efetivamente relevantes no segmento educacional a ser analisado e que podem influenciar a realização das viagens dos estudantes. Isto é, é necessário identificar os fatores que causam maior atratividade durante uma avaliação de preferências dos usuários em relação às escolas. Pesquisas exploratórias, através da aplicação de questionários abertos à população, constituem um recurso apropriado nesta etapa. Estes questionários preliminares devem envolver três tipos de informações: caracterização do segmento educacional a ser estudado, o perfil do entrevistado e a seleção dos atributos mais eleitos pela população.

Uma vez realizada a análise exploratória para a identificação dos atributos, estes podem ser separados em dois grupos: contínuos e discretos. Com relação aos atributos contínuos, um procedimento bastante adequado é a sua discretização (Ben-Akiva e Lerman, 1985). A seguir devem ser estabelecidos os diferentes valores que os atributos podem assumir, os quais são denominados níveis. Finalizado este levantamento dispõe-se dos atributos considerados relevantes e seus respectivos níveis. Um exemplo desta situação está descrito na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Atributos relevantes e seus níveis - um exemplo

Atributos	Níveis
Tempo de viagem	Até 30 min
	Entre 30 e 50 min
	Mais de 50 min
Qualificação dos professores	Professores formados
	Professores em formação

6.4.2.3 - Quantificação das preferências e estimação da função utilidade

Nesta fase, primeiramente são determinadas as combinações dos vários atributos das escolas e seus respectivos níveis, selecionados na etapa anterior. Estas combinações constituem as alternativas que serão submetidas ao processo de escolha dos entrevistados. A forma mais comum de apresentação destas alternativas é a sua representação através de cartões, os quais devem conter, sempre que possível, informações sobre a forma de ilustrações que auxiliem a compreensão do entrevistado.

Levando em consideração o número de alternativas obtido, pode ser realizado um experimento fatorial completo ou fatorial fracionário, conforme descrevemos na seção 4.5.3.

Em geral, apresenta-se de cinco a nove cartões aos entrevistados. Estes são solicitados, após esclarecimentos e perguntas iniciais, a exercer suas opções em relação às situações apresentadas. Embora as escolhas dos entrevistados possam ser realizadas de várias maneiras, o que mais consta na literatura (Almeida e Gonçalves, 1998b; Constantino, 1997; Novaes, 1996; Efrón, 1995, Bastos, 1994) é o procedimento de ordenação destes cartões. Neste caso, os cartões são apresentados numa seqüência aleatória ao entrevistado e este escolhe a opção que mais lhe agrada. Este cartão é então retirado do conjunto, e o entrevistado escolhe sua segunda opção, e assim sucessivamente. Sendo r o número de cartões tem-se ao final $(r - 1)$ escolhas diversas. Caso os cartões tenham sido agrupados em blocos, em função do número de alternativas resultantes, o bloco a ser apresentado deve ser escolhido aleatoriamente do conjunto de blocos disponíveis.

Para a definição da *função utilidade* visando quantificar a utilidade de cada unidade escolar aos usuários das diferentes zonas de tráfego delimitadas na área de estudo, adotamos o seguinte procedimento:

Sejam $i = 1, 2, \dots, n$ as zonas de tráfego na área de estudo e $l = 1, 2, \dots, m$ as unidades escolares da área de estudo; definimos a utilidade:

$$U_{il} = \text{utilidade da escola } l \text{ para os usuários da zona } i \quad (6.5)$$

usando uma função utilidade linear aditiva:

$$U_{il} = \sum_{k=1}^p \beta_k X_{kil} \quad (6.6)$$

onde :

X_{1il}, \dots, X_{pil} são as variáveis relativas aos p atributos selecionados nas l escolas, cujos valores podem variar para cada zona i ;
 β_1, \dots, β_p são os p parâmetros a ajustar;

Como na maioria das aplicações de preferência declarada, neste trabalho as ordenações das alternativas realizadas pelos entrevistados possibilitam estimar as preferências através do modelo de escolha Logit Explodido, apresentado na seção 4.8.

A calibração destes coeficientes será realizada através da maximização do logaritmo da função de verossimilhança, definida na seção 4.7, usando um programa desenvolvido para a estimação de modelos de preferências declaradas (Bastos, 1994). Uma vez calibrados estes coeficientes e obtido o valor das variáveis para cada escola l do sistema em relação à zona, pode-se especificar o valor da utilidade relativa de cada escola. O valor numérico fornecido pela função utilidade é adimensional e, não tem significado por si só, mas se torna significativo quando comparado com os respectivos valores das demais escolas.

Considerando que num sistema escolar temos n zonas de estudo e m unidades escolares, para descrever a utilidade de cada escola l (com $l = 1, 2, \dots, m$) para cada zona i (com $i = 1, 2, \dots, n$) da área de estudo, definimos uma matriz de utilidades $[U_{il}]$, onde cada elemento (U_{il}) é obtido pela expressão (6.6) para i e l fixados:

$$[U_{il}] = \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & U_{1m} \\ U_{21} & U_{22} & \cdot & \cdot & \cdot & U_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ U_{n1} & U_{n2} & \cdot & \cdot & \cdot & U_{nm} \end{bmatrix} \quad (6.7)$$

6.4.4.4 - Obtenção das escolas intervenientes

Tendo sido especificada a utilidade de cada escola para cada uma das zonas da área de estudo, as escolas que se interpõem entre cada par (i, j) de origem-destino são determinadas à partir do valor desta utilidade. O seguinte critério é adotado:

Dado um par de zonas origem-destino (i, j) e (C_{ij}) a separação espacial entre este par, uma escola l será interveniente entre i e j se:

$$\begin{aligned} i) & U_{il} > \text{MAX} \{U_{ik}, k \in K, K = \text{conjunto de unidades da zona } j\} \\ ii) & (C_{iq}) \leq (C_{ij}), \text{ onde } q \text{ é a zona que contém a escola } l \end{aligned} \quad (6.8)$$

Para cada par (i, j) de origem-destino, definimos o conjunto de escolas intervenientes entre i e j . Este conjunto, denotado por $(EI)_{ij}$, é dado por:

$$(EI)_{ij} = \{\text{unidades } l \text{ que satisfazem as condições (i) e (ii) estabelecidas pelo critério (6.8)}\} \quad (6.9)$$

Admitindo uma área de estudo com n zonas de tráfego, a Tabela 6.2 apresenta a configuração do conjunto de escolas intervenientes entre cada par (i, j) de zonas origem-destino.

Tabela 6.2 - Definição do conjunto $(EI)_{ij}$ das escolas intervenientes

i/j	1	2	3	.	.	.	n
1	$(EI)_{11}$	$(EI)_{12}$	$(EI)_{13}$.	.	.	$(EI)_{1n}$
2	$(EI)_{21}$	$(EI)_{22}$	$(EI)_{23}$.	.	.	$(EI)_{2n}$
3	$(EI)_{31}$	$(EI)_{32}$	$(EI)_{33}$.	.	.	$(EI)_{3n}$
.
.
.
n	$(EI)_{n1}$	$(EI)_{n2}$	$(EI)_{n3}$.	.	.	$(EI)_{nn}$

6.4.3- Definição da matriz de oportunidades intervenientes

Uma vez obtidas as escolas intervenientes entre cada par (i, j) , podemos determinar a matriz de oportunidades intervenientes $[W_{ij}]$. O seguinte procedimento é adotado:

Seja o vetor de oportunidades definido pela expressão (6.4); uma medida do número de oportunidades intervenientes entre i e j é dada por:

$$W_{ij} = \sum_{l \in (EI)_{ij}} C_l \quad (6.10)$$

onde C_l é uma medida da capacidade da escola $l \in \{(EI)_{ij}\}$ (definido em (6.9)) e é obtida do vetor de oportunidades (6.4).

Considerando que a área de estudo tem n zonas de tráfego vamos obter uma matriz $[W_{ij}]$ de ordem n onde cada elemento (W_{ij}) representa uma medida do número de oportunidades intervenientes entre as zonas de origem i e as zonas de destino j e é dado pela equação (6.10).

6.5- A calibração do modelo gravitacional de oportunidades

Uma vez determinados os fatores de impedância $[C_{ij}]$ e $[W_{ij}]$, levados em conta pelo modelo gravitacional de oportunidades, é necessário ainda determinar os fatores de demanda e atratividade de cada zona, O_i e D_j , respectivamente, para proceder a calibração dos parâmetros β e λ e dos fatores de balanceamento A_i e B_j . Este procedimento deve ser realizado para cada aplicação particular.

Segundo Gonçalves (1996), o processo de calibração do modelo gravitacional de oportunidades consiste de duas etapas bem definidas:

- Deve-se definir um critério de calibração, isto é, deve-se definir uma medida que será usada para avaliar o ajuste das estimativas aos dados.
- Devem ser estabelecidos procedimentos computacionais que permitam determinar os parâmetros do modelo de modo a obter o melhor ajuste.

O método usado neste trabalho foi apresentado em Gonçalves e Souza de Cursi (1997). O critério de calibração usado neste método é o princípio estatístico da máxima verossimilhança.

Segundo estes autores, supondo que existem $T^* = \sum_{ij} T_{ij}^*$ viagens observadas em uma área de estudo e, que os T_{ij}^* têm distribuições multinomiais independentes, as estimativas de máxima verossimilhança dos parâmetros β , λ , A_i e B_j ($i, j = 1, 2, \dots, n$) podem ser obtidas resolvendo as equações:

$$A_i = \left[\sum_j B_j D_j \exp(-\lambda W_{ij} - \beta C_{ij}) \right]^{-1} \quad (6.11)$$

$$B_j = \left[\sum_i A_i O_i \exp(-\lambda W_{ij} - \beta C_{ij}) \right]^{-1} \quad (6.12)$$

$$\sum_{ij} T_{ij}^* C_{ij} = \sum_{ij} T_{ij} C_{ij} \quad (6.13)$$

$$\sum_{ij} T_{ij}^* W_{ij} = \sum_{ij} T_{ij} W_{ij} \quad (6.14)$$

onde T_{ij} é o número estimado de viagens entre i e j e supõe-se que o número total de viagens estimado pelo modelo é $T = T^* = \sum_{ij} T_{ij}^*$.

Os parâmetros A_i s e B_j s garantem as tradicionais equações de consistência de fluxos,

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} = O_i \quad \text{e} \quad \sum_{i=1}^n T_{ij} = D_j, \quad \text{equivalentes às equações (6.11) e (6.12).}$$

Os parâmetros β e λ , chamados de parâmetros de impedância, associados ao custo de viagem e às oportunidades intervenientes, respectivamente, devem garantir que as equações (6.13) e (6.14) sejam satisfeitas.

Para cada (β, λ) fixo, os $A_{i,s}$ e $B_{j,s}$ são determinados pelo método de equilíbrio de matrizes de Furness (ver Gonçalves, 1992). Assim, supondo que $T = T^* = \sum_{ij} T_{ij}^*$ viagens serão estimadas, o problema da calibração é resolvido pelos autores em duas etapas:

- É definida uma função

$$F(\beta, \lambda) = \left(C^* - \sum_{ij} \frac{T_{ij}(\beta, \lambda)}{T} C_{ij} \right)^2 + \left(W^* - \sum_{ij} \frac{T_{ij}(\beta, \lambda)}{T} W_{ij} \right)^2 \quad (6.15)$$

onde:

$$C^* = \frac{1}{T^*} \sum_{ij} T_{ij}^* C_{ij}; \quad (6.16)$$

$$W^* = \frac{1}{T^*} \sum_{ij} T_{ij}^* W_{ij}; \quad (6.17)$$

$$T_{ij}(\beta, \lambda) = A_i(\beta, \lambda) O_i B_j(\beta, \lambda) D_j \exp(-\beta C_{ij} - \lambda W_{ij}); \quad (6.18)$$

sendo que os $A_i(\beta, \lambda)$ e os $B_j(\beta, \lambda)$ são obtidos pelo método de Furness, de forma a satisfazer as equações de consistência de fluxos.

- A função $F(\beta, \lambda)$ é minimizada de modo que seu valor mínimo absoluto seja igual a zero. Para isto, os autores usam o método do gradiente com perturbações aleatórias (*GR-PA*) (ver Gonçalves e Souza de Cursi, 1997) o qual tem se mostrado robusto e eficaz para a resolução do problema.

Implementado o método, são determinados os parâmetros do modelo e este pode então ser usado para estimar a distribuição das viagens dos estudantes.

6.6- Definição de um indicador de acessibilidade

A análise da variação da acessibilidade de certos segmentos populacionais constitui uma forma bastante apropriada para resumir uma grande quantidade de informações sobre a distribuição espacial das atividades urbanas, a estrutura da rede de transportes que conecta estas atividades,

as restrições de mobilidade enfrentadas pelos usuários e assim permite analisar a equidade observada entre os diferentes grupos da população em relação ao acesso às atividades.

O grande número de variáveis envolvidas no conceito de equidade espacial foram objeto de análise em diversas pesquisas (ver por exemplo Strambi, 1991; Hay, 1995). No nosso trabalho, no entanto, não vamos abordar a questão normativa do “*que é equidade*” mas sim, o processo empírico de verificar se há equidade entre os diferentes grupos populacionais em relação ao acesso dos indivíduos às atividades urbanas, mais especificamente, às unidades de serviços públicos disponíveis. Neste sentido, estamos empenhados na definição de uma medida de acessibilidade e na verificação da equidade entre os diferentes grupos de usuários no que diz respeito às facilidades de acesso às unidades prestadoras do serviço.

As características da fundamentação teórica e a utilização dos diferentes tipos de parâmetros na formulação de medidas de acessibilidade, apresentadas no Capítulo 5, constituem um instrumental de grande importância na definição de um novo indicador.

O enfoque abordado neste trabalho está voltado à possibilidade de integrar, aos modelos de acessibilidade convencionais, um fator relativo ao comportamento dos usuários quando de suas viagens às unidades de serviços.

Neste contexto, são levadas em conta premissas estabelecidas por Morris et al (1979), de que um indicador de acessibilidade torna-se mais eficaz à medida em que:

- incorpora um fator de separação espacial entre a origem do usuário e a atividade de destino;
- leva em consideração um elemento que, mesmo implicitamente, envolve a dimensão comportamental dos indivíduos quando da realização de suas viagens para participar das atividades urbanas;
- tem fácil interpretação e torna-se compreensível aos planejadores ou administradores do sistema em estudo;

A partir da conceituação de acessibilidade já abordada, para o desenvolvimento de um indicador de acessibilidade que permita avaliar as facilidades de acesso dos diferentes grupos populacionais de uma área de estudo às atividades urbanas de serviços públicos, partimos do

pressuposto de que a acessibilidade *mede a intensidade dos efeitos de impedâncias (barreiras)* que se colocam entre a origem do usuário e a unidade de destino.

Em se tratando de sistemas educacionais, diversos estudos (Gouveia e Havighrust, 1969; PROEM, 1997; Mezomo, 1997) têm sugerido que a *impedância* entre uma zona de origem e uma escola de destino está associada à separação espacial entre elas, bem como às características das escolas.

Para caracterizar a separação espacial o parâmetro mais freqüentemente utilizado na definição de medidas de acessibilidade é o tempo de viagem, conforme podemos observar no Capítulo 5. Assim, para a análise de redes escolares este é também um parâmetro selecionado, tendo em vista a constatação de sua importância na decisão do usuário para realizar ou não a viagem por motivo escola.

Para incorporar o tempo de viagem no modelo de acessibilidade usamos uma matriz de tempos de viagem $[C_{ij}]$, onde cada elemento (C_{ij}) representa o tempo de viagem entre a zona de origem i e a zona de destino j . A escolha do modo de transporte ao qual está associado este tempo deve ser definida em cada aplicação particular.

Alguns estudos, verificando a importância do tempo de viagem nos deslocamentos dos estudantes, estabelecem valores para os mesmos (ver Arantes, 1986). Todavia, a alocação dos estudantes à escola mais próxima, sugerida em grande parte dos modelos clássicos destinados a redes escolares, não reflete de forma eficaz o real comportamento dos usuários. Aspectos relacionados com a qualidade das escolas têm se mostrado relevantes no comportamento de escolha dos indivíduos entre as escolas disponíveis (Lankford et al, 1995).

Deste modo, as características das escolas exercem grande influência sobre a opção dos estudantes pela escola à freqüentar. Esta opção pode ser associada ao nível de satisfação proporcionado aos usuários pelas escolas, tendo em vista as preferências dos estudantes em relação à estas características. Neste contexto, as características das escolas constituem elemento que influencia o nível de acessibilidade dos estudantes.

Para incorporar este enfoque no modelo de acessibilidade, utilizamos a matriz de oportunidades intervenientes $[W_{ij}]$, obtida na Seção 6.4, onde a medida de satisfação usada é uma função utilidade ajustada por modelos de preferência declarada.

Para determinar a *impedância* entre cada par (i, j) de origem-destino definimos:

$$[I_{ij}] = P_1 [C_{ij}] + P_2 [W_{ij}] \quad (6.19)$$

onde:

$[C_{ij}]$ é a matriz relativa à separação espacial entre i e j ;

$[W_{ij}]$ é a matriz de oportunidades intervenientes entre i e j , caracterizada como impedância não espacial;

P_1 e P_2 são pesos que podem ser atribuídos à separação espacial e impedância não espacial, respectivamente;

Para determinar a impedância de uma origem i em relação aos diferentes destinos de uma área de estudo, levamos em consideração a idéia inicialmente apresentada por Toregas et al (1971), utilizando o custo generalizado médio, conforme apresentamos na Seção 5.4.

No nosso caso, consideramos que o número de viagens $[T_{ij}]$ entre cada par (i, j) de origem-destino pode ser estimado através do modelo gravitacional de oportunidades (6.1), quando não se dispõe de dados observados atualizados. Convém lembrar que este modelo envolve um fator de atratividade dos destinos (D_j). Deste modo, a atratividade está implicitamente envolvida no indicador de acessibilidade.

Assim, para determinar a impedância I_i dos usuários de uma origem i em relação aos n diferentes destinos j , definimos:

$$I_i = \frac{\sum_{j=1}^n I_{ij} T_{ij}}{\sum_{j=1}^n T_{ij}} \quad (6.20)$$

onde:

I_{ij} é obtido pela expressão (6.19);

T_{ij} é o fluxo de usuários entre o par (i, j) ;

Definimos então a acessibilidade dos usuários da zona i como sendo:

$$A_i = \frac{1}{I_i} \quad (6.21)$$

onde:

A_i é o índice de acessibilidade dos usuários da zona i ;

I_i é obtido da expressão (6.20);

Quanto maior o valor de A_i maior é o nível de acessibilidade dos usuários da zona i . Podemos observar que os valores da impedância I_i influenciam a acessibilidade dos indivíduos da zona de forma indireta, ou seja, quanto menor a impedância I_i maior o nível de acessibilidade.

A acessibilidade assim definida é uma acessibilidade relativa, no sentido de que intervenções sobre zonas específicas influenciam o nível de acessibilidade do sistema como um todo.

A obtenção do nível de acessibilidade para as diferentes zonas da cidade, permite uma visão geral do desempenho de um sistema educacional perante a população e vai revelar as áreas de acessibilidade baixa, bem como identificar as regiões mais beneficiadas. Deste modo, pode indicar as regiões onde as intervenções para a melhoria do sistema são mais necessárias. Para observar se há igualdade de oportunidades em relação ao nível de acessibilidade dos usuários das diferentes regiões da área urbana, podem ser aplicadas medidas de equidade constantes na literatura (ver Mulligan, 1991).

6.7 - Aplicações da metodologia ao planejamento estratégico

O planejamento no setor educacional é um processo contínuo, que segundo Sant'Anna et al, (1992), se "*preocupa com o para onde ir e como chegar lá*", tendo em vista a situação presente e possibilidades futuras, para que o desenvolvimento da educação atenda tanto a necessidades do desenvolvimento da sociedade quanto as do indivíduo.

No gerenciamento de sistemas educacionais existe a necessidade de se decidir sobre a abertura de novas escolas, a manutenção das escolas atuais, transformação ou ampliação de unidades já existentes, bem como sobre a estrutura da rede de transportes que atende a demanda destas escolas. Neste contexto, o trabalho que estamos desenvolvendo, embora referenciado em alguns pontos teóricos, pretende ter valor instrumental, proporcionando informações importantes à pessoas ou entidades responsáveis pela determinação de estratégias no que diz respeito ao planejamento e análise destes sistemas.

A intenção da metodologia proposta é contribuir para que a elaboração e a avaliação de estruturas de sistemas educacionais sejam conduzidas dentro de uma visão que pretende incluir aspectos comportamentais dos usuários e que permite a análise da questão da equidade na acessibilidade às escolas.

Levando em consideração os objetivos estabelecidos pelo órgão gestor e requeridos pela sociedade para um sistema educacional, a metodologia proposta pode ser utilizada para diferentes finalidades.

6.7.1- Avaliação da localização atual das unidades escolares

Este procedimento consiste na aplicação da metodologia como um instrumento de avaliação. Neste sentido, sua concepção deve enfatizar a produção de informações relevantes para a tomada de decisões por parte dos gerenciadores do sistema. Em particular, os resultados devem destacar os impactos da política de distribuição de escolas na área de estudo de forma desagregada, para que julgamentos sobre a questão da equidade na acessibilidade às escolas sejam possíveis.

O mapeamento da acessibilidade, obtida pela expressão (6.21), para as diferentes zonas da área de estudo, vai revelar como a distribuição atual atende aos interesses de cada grupo de usuários em particular. Deste modo, o estudo permite uma visão do desempenho do sistema educacional e sua integração com a rede de transportes. A partir dos resultados obtidos podem ser determinadas as estratégias mais adequadas para estabelecer uma configuração no sistema mais próxima dos interesses da população.

6.7.2 - Sugestão de estratégias viáveis

Várias são as configurações possíveis para a rede física de um sistema educacional, cada uma delas apresentando diferentes características em termos da distribuição espacial e dos atributos oferecidos pelas escolas. No entanto, é adequado, do ponto de vista social, que as inovações propostas para estes sistemas atendam objetivos relacionados com a garantia de bons níveis de acessibilidade e igualdade de oportunidades (Tavares, 1991; Mezomo, 1997).

Partindo da análise da configuração atual de um sistema, as ações dos planejadores e administradores podem ser direcionadas atendendo a objetivos pré-especificados. Neste sentido, a metodologia que estamos apresentando possibilita a realização de simulações para diferentes situações do sistema, realizando a avaliação do impacto das medidas sugeridas em cada situação em relação aos objetivos. O indicador de acessibilidade pode ser utilizado para avaliar a mérito relativo das diferentes propostas alternativas de intervenção no sistema educacional, pois cada sugestão de ação sobre o sistema irá alterar a acessibilidade para cada região da área de estudo. Este, embora ainda não seja um procedimento usual no Brasil, é fortemente recomendado na literatura (Hodge, 1986; Dimitriou, 1990; Arruda, 1997) e é de grande valia para os administradores do sistema, especialmente na fase de planejamento.

Considerando um horizonte de planejamento em torno de 5 anos, a localização de novas escolas é uma estratégia indispensável, tendo em vista o crescimento populacional, especialmente nas regiões urbanas. As zonas nas quais devem ser implantadas as novas escolas podem ser definidas a partir dos resultados obtidos, levando em consideração os níveis de acessibilidade proporcionados aos usuários das diferentes zonas da área. A inclusão da nova escola ao sistema e a sua utilidade relativa para os estudantes conduz a uma nova matriz de oportunidades intervenientes. Os totais marginais (O_i e D_j) são atualizados e pode-se determinar a nova distribuição de viagens decorrente. A acessibilidade é determinada para cada zona da área e a localização da nova escola pode ter o seu impacto avaliado.

Soluções mais imediatas para os possíveis problemas detectados podem estar relacionadas com a ampliação ou transformação de unidades escolares já existentes. Neste caso, a demanda O_i permanece constante e, as variações na atratividade D_j para alguma zona j , são consequência da ampliação sugerida. Os novos valores de T_{ij} , conduzem a novos valores de acessibilidade.

Transformações de unidades escolares já existentes, relacionadas com os atributos selecionados pelos usuários através do experimento de preferência declarada, também é uma estratégia viável. Neste caso, as transformações efetuadas à partir da identificação das preferências dos estudantes, podem sugerir alterações na configuração do sistema. As transformações realizadas alteram o valor da função utilidade para estas escolas. Isto conduz a uma nova matriz de oportunidades intervenientes $[W_{ij}]$ e a atualização da matriz $[T_{ij}]$ e proporciona novos valores para a acessibilidade. Em prazos de planejamento mais longos, o experimento de preferência declarada deve ser repetido. A dinâmica dos sistemas educacionais e o próprio processo de desenvolvimento do País implicam na necessidade de atualização nos atributos selecionados pela população. Um grande desafio para a escola é atender as necessidades dos estudantes, acompanhando as mudanças decorrentes do processo de desenvolvimento das quais emana a necessidade de novos caminhos e novas técnicas para a solução dos problemas.

CAPÍTULO 7

UMA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

7.1 - Introdução

Para avaliar a aplicabilidade da metodologia proposta é feito um estudo de caso na cidade de Londrina - Paraná. Neste sentido, a aplicação aqui desenvolvida apresenta valor teórico. No entanto, os resultados obtidos permitem inteirar-se de realidades básicas sobre aspectos do sistema educacional da cidade, área de estudo. A aplicação demonstra a aplicabilidade do método proposto no planejamento escolar, fornecendo informações sobre o sistema escolar e sobre as configurações simuladas para o mesmo.

Os procedimentos de análise que caracterizam a metodologia incorporam, além de aspectos técnicos teoricamente bem fundamentados, elementos que devem ser vistos à luz de fatores sociais e econômicos.

As etapas desenvolvidas nesta aplicação consistem em:

- Escolha da área de estudo e definição do zoneamento da área.
- Escolha do segmento educacional a ser analisado e sua caracterização na área de estudo.
- Definição da separação espacial entre as zonas definidas na área de estudo.
- Obtenção da matriz de oportunidades intervenientes através de métodos de preferência declarada.
- A calibração do modelo gravitacional de oportunidades.
- A obtenção do índice de acessibilidade para as zonas da área de estudo através do indicador desenvolvido.
- Análise dos resultados e algumas simulações para o sistema em estudo.

7.2 - Escolha e zoneamento da área de estudo

A escolha da área para aplicar a metodologia foi realizada levando em consideração o conhecimento da autora em relação a área e as possibilidades de obter os dados necessários. A área selecionada para o estudo é a zona urbana da cidade de Londrina, localizada no norte do

estado do Paraná, na região sul do Brasil, compreendendo uma área de 116,80 Km². Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), a população da área em 1996 era de 389.265 habitantes. A área foi dividida em 12 zonas. O zoneamento foi realizado a partir de dados fornecidos pelo IPPUL (Instituto de Planejamento Urbano de Londrina). O centróide de cada zona foi determinado levando em consideração a maior concentração populacional da zona (Figura 7.1).

7.3 - Escolha do segmento educacional e sua caracterização na área de estudo

O sistema escolhido para análise é a rede pública (estadual) do ensino médio, que em 1997 era composta por 29 unidades escolares estaduais, nas quais estavam matriculados 18701 estudantes em março deste mesmo ano. A distribuição espacial destas escolas no zoneamento da área de estudo é apresentada na Figura 7.1.

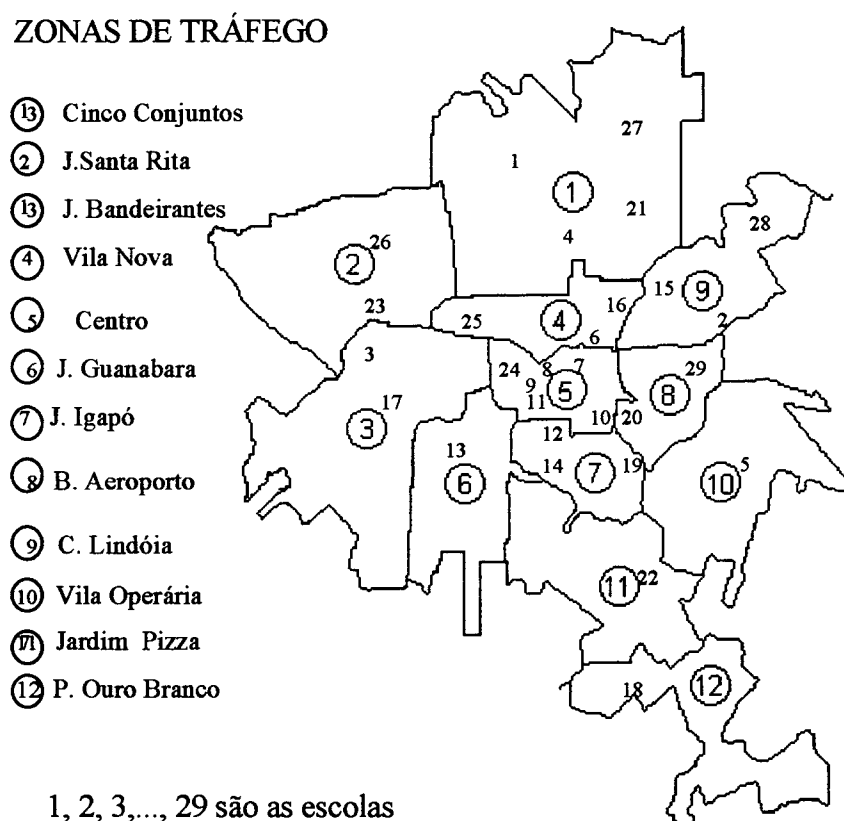


Figura 7.1 - Zoneamento da cidade de Londrina e distribuição espacial das escolas públicas de ensino médio

Uma vez escolhidas as escolas e apresentada a sua localização no zoneamento estabelecido, pode-se definir a demanda e a atratividade das zonas de tráfego, levando em consideração estas escolas.

Como fator de atratividade para as viagens da zona de destino j , D_j , é usado o número total de alunos matriculados em todas as escolas da zona j , obtido junto ao Núcleo Regional de Ensino de Londrina (NRE). A demanda O_i de cada zona i representa um percentual da população entre 14 e 19 anos, cujos dados foram obtidos junto ao IBGE. Estes dados são apresentados na Tabela 7.1.

Podemos observar que $\sum_i O_i = \sum_j D_j$. Além disso, o sistema escolar analisado não se encontra congestionado no momento. Isto é, toda a demanda da área de estudo ($\sum_i O_i$) é atendida pelas escolas disponíveis no sistema. Segundo dados do Núcleo Regional de Ensino da cidade (NRE) não havia falta de vagas nas escolas de ensino médio durante o ano de 1997, época da coleta dos dados relativos a esta aplicação.

Tabela 7.1 - Características das zonas de tráfego

Zona	Centróide da zona	Escolas da zona ($l = 1,2,\dots,29$)	Atratividade D_j	Demanda O_i
1	Cinco Conjuntos	1, 4, 21, 27	2096	4080
2	Jardim Santa Rita	23, 26	401	974
3	Jardim Bandeirantes	3, 17	2154	1716
4	Vila Nova	6, 16, 25	1329	1689
5	Região Central	7,8,9,10,11,24	6305	2388
6	Jardim Guanabara	13	380	465
7	Jardim Igapó	12, 14, 19	3296	1300
8	Bairro Aeroporto	20, 29	842	1847
9	Conjunto Lindóia	2, 15, 28	1159	1167
10	Vila Operária	5	161	973
11	Jardim Pizza	22	177	1012
12	Parque Ouro Branco	18	401	1090

Resta, porém, justificar a escolha do ensino médio como objeto desta pesquisa. Antes de mais nada, em um país como é o caso do Brasil, onde relativamente poucos chegam a esta etapa,

conforme podemos observar nos dados registrados no Capítulo 2 deste trabalho, e um número ainda menor prossegue para o escalão superior, é interessante que se possa conhecer mais sobre as expectativas dos estudantes em relação a estas escolas e em que circunstâncias os alunos estão conseguindo concluir estes cursos, tendo em vista os inúmeros problemas ainda detectados no nosso sistema educacional.

A par disso, porém, razões de outra ordem nos levam a abordar nesta pesquisa as escolas de nível médio na cidade de Londrina:

- Visto sob o ângulo dos estudos que analisam a questão da mão-de-obra, o problema do ensino médio coloca-se em termos de adequação quantitativa e qualitativa às necessidades do mercado de trabalho. Os egressos do ensino médio têm expectativas de sua inserção ou permanência neste mercado. Neste contexto a principal característica do ensino médio está relacionada com “a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores” (Proposta de Reestruturação do Ensino Médio - PROEM); daí a importância social deste segmento educacional.
- Vive-se atualmente um momento de transição no que se refere ao ensino médio, não apenas no Estado do Paraná, mas em todo o Brasil. A partir da promulgação da Constituição em 1988 e, de certo modo, desde as propostas e discussões que alimentavam a sua elaboração e os embates que frutificaram no texto finalmente aprovado, mas principalmente depois da sanção da nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação, o Brasil vem redirecionando o seu sistema de educação em todos os níveis e mais profundamente no que se refere ao ensino médio. Muitas vezes negligenciado nas sucessivas reformas, o ensino médio está sendo objeto de um tratamento especial, onde desponta o incentivo à diferenciação de identidades entre as instituições e o traçado de projetos diversificados. O objetivo é oferecer aos estudantes e aos diferentes setores da vida social a necessária e, talvez, indispensável e inadiável variedade de opções que os nossos tempos exigem. Este momento histórico de reflexão e reestruturação do ensino de 2^o grau merece investigar estudantes e comunidade sobre sua satisfação e suas perspectivas em relação ao ensino médio. A verificação da

equidade entre os diferentes grupos populacionais em relação ao acesso às escolas é relevante neste contexto.

- A possibilidade de obter os dados necessários para aplicar a metodologia se mostra viável no ensino médio de Londrina. Tendo em vista que não se faz, de forma sistemática, uma coleta de dados adequada para a aplicação dos modelos desenvolvidos, todos os esforços foram envidados para que se pudesse obter as informações necessárias para a aplicação. As escolas de ensino médio se mostraram dispostas a colaborar neste sentido.
- No Capítulo 2 foi feita a constatação de que no Brasil, mais de 80% dos alunos de nível médio freqüentam escolas públicas estaduais. Na cidade de Londrina, observamos que, dos 22800 estudantes matriculados no ensino médio em 1997, 18701 freqüentavam escolas públicas. Deste modo, optou-se por envolver apenas estas escolas na pesquisa uma vez que elas contém a grande maioria dos estudantes de ensino médio.

Estruturou-se inicialmente uma coleta de dados no período de março à setembro de 1997, com vistas à obtenção de informações relativas ao perfil dos estudantes e suas famílias, investigando idade, sexo, faixa de renda, grau de instrução dos pais ou responsáveis e modo de transporte utilizado nas viagens por motivo escola. Neste momento também foi realizada a seleção dos atributos das escolas de nível médio considerados mais importantes pelos estudantes, dentre um conjunto de atributos apresentado (Anexo 1).

Foram entrevistados 971 alunos escolhidos aleatoriamente nas 29 escolas. Optou-se por entrevistar os próprios estudantes, tendo em vista que não se dispunha de recursos que permitissem uma pesquisa mais abrangente envolvendo outros elementos da sociedade. Por outro lado, em se tratando de alunos de 2º grau, partiu-se do pressuposto de que, em geral, eles próprios são responsáveis pelas decisões em relação às escolas.

No entanto, em fase posterior foram entrevistados 30 pais de alunos escolhidos aleatoriamente em diferentes pontos da cidade, usando o mesmo questionário aplicado aos alunos. Não houve divergências marcantes, no que se refere a seleção dos atributos, o que nos levou a utilizar apenas dados obtidos dos alunos. Resultados sobre o perfil dos entrevistados são apresentados

no Quadro 7.1. Os atributos selecionados pela pesquisa de sondagem são apresentados na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 - Atributos selecionados e sua frequência

Atributos	Frequência
Existência de laboratórios na escola	55.3%
Qualificação dos professores da escola	51.7%
Cursos oferecidos pela escola	49.23%
Existência de quadras de esporte na escola	39.55%
Tempo de viagem entre a residência e a escola	38.52%
Realização de eventos culturais e esportivos	35.3%

Nesta fase de coleta de dados foi estruturada também uma pesquisa com o objetivo de obter uma matriz observada $[T_{ij}^*]$ (com $i, j = 1, 2, \dots, 12$) de distribuição das viagens dos estudantes às escolas. Foram investigados estudantes das 29 escolas, distribuídas nas 12 zonas, sobre sua procedência, ou seja, zona de origem, usando o formulário apresentado no Anexo 2. Os dados obtidos constituem a matriz apresentada a seguir, onde cada elemento (T_{ij}^*) representa o número de alunos da zona i que vão para escolas da zona j .

$$[T_{ij}^*] = \begin{bmatrix} 2008 & 1 & 181 & 125 & 1500 & 1 & 259 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 30 & 386 & 263 & 3 & 179 & 35 & 73 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 10 & 3 & 1319 & 4 & 201 & 1 & 174 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 20 & 3 & 86 & 740 & 737 & 10 & 90 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 174 & 20 & 1556 & 8 & 540 & 84 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 20 & 4 & 136 & 160 & 135 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 18 & 2 & 275 & 1 & 998 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 58 & 271 & 877 & 1 & 396 & 231 & 0 & 10 & 0 & 0 \\ 15 & 5 & 13 & 151 & 195 & 1 & 63 & 0 & 716 & 0 & 0 & 8 \\ 0 & 0 & 5 & 3 & 99 & 1 & 56 & 423 & 241 & 145 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 11 & 3 & 285 & 1 & 329 & 98 & 104 & 0 & 173 & 8 \\ 0 & 0 & 6 & 3 & 265 & 160 & 183 & 0 & 91 & 0 & 0 & 382 \end{bmatrix}$$

Idade dos alunos	Transporte utilizado
Entre 14 e 17 anos: 62,6%	Transporte coletivo: 56,4%
Mais de 17 anos: 37%	Automóvel: 18,3%
Menos de 14 anos: 0,4%	Outros: 25,3%

Grau de instrução do responsável	Nível de renda das famílias
sem instrução: 5,2%	0-5 salários mín: 32,4%
1º grau incompleto: 24,5%	5-10 salários min: 36,5%
1º grau completo: 16,3%	Mais de 10 salários min: 31,1%
2º grau completo: 29,2%	
superior completo: 24,8%	

Quadro 7.1 - Dados sobre a população entrevistada

7.4 - Definição da separação espacial

Para medir a separação espacial entre cada par (i, j) de origem-destino através do tempo de viagem, conforme sugerimos nesta metodologia, consideramos o transporte público coletivo (ônibus é o único modo de transporte público coletivo disponível na cidade), tendo em vista que a maior parte dos estudantes entrevistados utiliza-se deste modo de transporte nas viagens por motivo escola, conforme podemos observar no Quadro 7.1.

A cidade de Londrina mantinha monopólio no serviço de transporte público até 1996. Deste modo, a matriz $[C_{ij}]$ de tempos de viagem foi construída conjuntamente com um funcionário de uma empresa prestadora do serviço na cidade com larga experiência na área (Almeida e Gonçalves, 1998a). Tempos de espera e de caminhada também foram incluídos no tempo total despendido na viagem. O tempo de viagem intrazonal (C_{ii}) foi estabelecido levando em consideração as linhas de ônibus disponíveis para deslocamentos no interior da zona. Na matriz $[C_{ij}]$, apresentada a seguir, cada elemento (C_{ij}) representa o tempo de viagem, expresso em minutos, entre a zona de origem i e a zona de destino j .

Um fator importante que foi considerado na definição dos tempos de viagem, é que os estudantes, nas viagens pendulares residência-escola, quando necessitam de duas linhas de ônibus para chegar ao destino desejado, passam por um terminal de integração tarifária (a área de estudo possui 5 destes terminais) para pagar apenas uma passagem, mesmo que isto aumente o seu tempo de viagem.

$$[C_{ij}] = \begin{bmatrix} 20 & 60 & 60 & 55 & 30 & 55 & 60 & 60 & 50 & 60 & 65 & 65 \\ 60 & 15 & 50 & 55 & 25 & 60 & 60 & 60 & 50 & 60 & 65 & 65 \\ 60 & 50 & 20 & 50 & 30 & 30 & 55 & 60 & 55 & 60 & 65 & 65 \\ 55 & 55 & 50 & 15 & 20 & 45 & 40 & 60 & 55 & 50 & 60 & 60 \\ 30 & 25 & 30 & 20 & 15 & 25 & 25 & 30 & 25 & 25 & 25 & 25 \\ 55 & 60 & 30 & 45 & 25 & 20 & 40 & 60 & 60 & 60 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 55 & 40 & 25 & 40 & 20 & 55 & 55 & 50 & 50 & 55 \\ 60 & 60 & 60 & 60 & 30 & 60 & 55 & 20 & 60 & 30 & 55 & 55 \\ 50 & 50 & 55 & 55 & 25 & 60 & 55 & 60 & 20 & 50 & 60 & 60 \\ 60 & 60 & 60 & 50 & 25 & 60 & 50 & 30 & 50 & 20 & 50 & 50 \\ 65 & 65 & 65 & 60 & 25 & 60 & 50 & 55 & 60 & 50 & 18 & 25 \\ 65 & 65 & 65 & 60 & 25 & 60 & 55 & 55 & 60 & 50 & 25 & 20 \end{bmatrix}$$

7.5 - Obtenção da matriz de oportunidades intervenientes através de modelos de preferência declarada

A presente aplicação associa a cada escola do sistema em estudo a utilidade que esta proporciona aos seus estudantes. Esta utilidade é quantificada através de uma função utilidade ajustada por modelos de preferência declarada. Deste modo, são determinadas as escolas que se interpõem entre a origem i do estudante e a zona de destino j .

A pesquisa de sondagem, descrita na Seção 7.3, permite concluir que aspectos relacionados com a qualidade da escola, além do tempo de viagem entre a residência e a escola, constituem elementos que influenciam a escolha da escola de ensino médio a ser freqüentada pelo estudante. Isto sugere que, de fato, a associação da escolha da escola com a utilidade que a mesma proporciona ao estudante se justifica (ver Almeida e Gonçalves, 1999).

Descrevemos a seguir as etapas desenvolvidas para determinar a matriz $[W_{ij}]$ de oportunidades intervenientes através do valor da utilidade que cada escola proporciona à seus alunos.

7.5.1 - Definição dos atributos e seus níveis

Os atributos relevantes, que consistem nos fatores que causam maior atratividade durante uma avaliação de preferências de estudantes em relação às escolas de ensino médio, foram identificadas na pesquisa de sondagem e constam na Tabela 7.2.

Para definir os níveis destes atributos selecionados, levamos em consideração os valores que os mesmos podem assumir. Para o atributo tempo de viagem entre residência e escola foram definidos 3 níveis, sendo que estes foram estabelecidos a partir da matriz $[C_{ij}]$ de tempos de viagem apresentada na Seção 7.4. Para representar esta variável é usada uma representação zero-um conforme mostra a Tabela 7.3. Para os demais atributos foram determinados dois níveis, e foram representados por variáveis do tipo zero-um, considerando zero como uma situação dada e um como sendo esta situação melhorada. A configuração obtida consta na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 - Atributos selecionados e seus respectivos níveis

Variável	Atributo	Níveis	Valoração
X ₁	Laboratórios	Sem laboratórios	0
		Com laboratórios	1
X ₂	Qualificação dos professores	Professores em formação	0
		Professores formados	1
X ₃	Cursos oferecidos	Educação Geral	0
		Ed. Geral e Cursos Profissionalizantes	1
X ₄	Quadras de esporte	Sem quadras	0
		Com quadras	1
X ₅	Tempo de viagem	Superior a 50 min	(0,0)
		Entre 30 min e 50 min	(0,1)
		Inferior a 30 min	(1,1)
X ₆	Eventos culturais e esportivos	Sem eventos	0
		Com eventos	1

7.5.2 - Elaboração das alternativas e realização das entrevistas

Cada alternativa usada na pesquisa é definida como uma combinação de níveis dos atributos. O experimento permite a construção de $2^5 \times 3^1 = 96$ alternativas diferentes, uma vez que há 5 atributos com 2 níveis e 1 atributo com 3 níveis.

A construção dos cartões considerando apenas a eliminação de alternativas dominadas e daquelas que acarretariam em preferência induzida (alternativas que são sempre preferidas em relação às demais) resulta em um número ainda elevado de alternativas. Considerando a dificuldade que os alunos teriam em lidar com um número elevado de alternativas, optou-se por um experimento fatorial fracionário que resulta em um número menor de alternativas, adotando 6 blocos com 6 cartões em cada bloco, resultando em 36 cartões. Os cartões foram construídos contendo ilustrações para auxiliar a compreensão dos entrevistados. Alguns destes cartões são apresentados no Anexo 3.

Para a realização das entrevistas foi escolhido aleatoriamente um bloco de cartões do conjunto de blocos disponíveis e o estudante ordenava estes cartões segundo suas preferências em relação às combinações de atributos que lhe foram apresentadas. Ou seja, a pessoa entrevistada, após examinar cuidadosamente os cenários contidos nos 6 cartões, selecionava aquele que lhe parecia ser a melhor alternativa para uma escola de 2º grau. Este cartão era então separado e o estudante escolhia sua segunda opção, e assim sucessivamente até ordenar os 6 cartões. As entrevistas foram realizadas nas salas de aula, onde os estudantes eram bem esclarecidos pelos entrevistadores antes de iniciarem o processo de ordenação dos cartões. Foram realizadas 357 entrevistas em turmas escolhidas aleatoriamente nas escolas. Foram realizadas 60 entrevistas de 5 grupos e 57 do sexto grupo de cartões.

7.5.3- Calibração dos parâmetros da função utilidade

Os dados descrevendo as preferências dos estudantes foram analisados utilizando um programa desenvolvido para ajuste de modelos de preferências declaradas apresentado em Bastos (1994). Neste programa, um modelo de escolha discreta do tipo logit explodido é ajustado aos dados levantados nas entrevistas. A calibração dos coeficientes da função utilidade é realizada através da maximização do logaritmo da função de verossimilhança. O programa utiliza o método de Newton-Raphson vetorial para o ajuste a partir de uma solução inicial.

A função utilidade cujos coeficientes devem ser calibrados é dada por:

$$U = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5' X_5' + \beta_5'' X_5'' + \beta_6 X_6 \quad (7.1)$$

onde as variáveis X_1, X_2, \dots, X_6 são dadas como na Tabela 7.3; X_5' e X_5'' são as variáveis usadas para representar os três níveis adotados para a variável “tempo de viagem”; $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5', \beta_5'', \beta_6$ são os 7 coeficientes que devem ser ajustados.

Como resultados da calibração são apresentados na Tabela 7.4: estimativas para os coeficientes da função utilidade, estatísticas de Qui-Quadrado para a função de máxima log-verossimilhança, erro padrão e estatística t.

Tabela 7.4 - Resultados da calibração

Atributos	Coefficientes β	Erro	t-student
Laboratórios	1.229669	0.056083	21.926529
Formação dos professores	1.978867	0.065858	30.047468
Cursos oferecidos	0.395635	0.057489	6.881939
Quadras de esporte	0.772069	0.057285	13.477712
Tempo de viagem 1	0.322375	0.059677	5.401971
Tempo de viagem 2	0.277301	0.071025	3.904284
Eventos culturais	0.492207	0.055667	8.840878

Estatísticas

Likelihood:

$L(0) = -2348.792$

$L(\beta) = -1956.978$

$-2*[L(0)-L(\beta)] = 783.428$

Rho: 0.166815

Rho Ajustado: 0.163835

7.5.4- Obtenção da matriz de utilidades

Para quantificar a utilidade de cada escola para os estudantes de cada uma das zonas de tráfego delimitadas na área de estudo, usamos a utilidade definida na Seção 6.4.2.3, onde

$$U_{il} = \text{utilidade da escola } l \text{ para os estudantes da zona } i$$

com $i = 1,2,3,\dots,12$ e $l = 1,2,3,\dots,29$, cuja representação matemática é dada por:

$$U_{il} = \beta_1 X_{1il} + \beta_2 X_{2il} + \beta_3 X_{3il} + \beta_4 X_{4il} + \beta_5' X_{5il}' + \beta_5'' X_{5il}'' + \beta_6 X_{6il} \quad (7.2)$$

e os coeficientes, obtidos pela calibração, são apresentados na Tabela 7.4.

Os critérios para a atribuição do valor “zero ou um” às variáveis para obter o valor da função utilidade são:

X_1 = Existência de laboratórios na escola, onde:

$X_1=0$ se não existem 2 laboratórios na escola;

$X_1=1$ se existe pelo menos 1 laboratório de Físico-Química e 1 laboratório de informática na escola;

X_2 = Qualificação dos professores, onde:

$X_2=0$ se mais de 20% dos professores são “não formados” (Curso de Licenciatura);

$X_2=1$ se no máximo 20% dos professores são “não formados” (Curso de Licenciatura);

X_3 = Cursos oferecidos pela escola, onde:

$X_3=0$ se a escola oferece apenas curso de Educação Geral;

$X_3=1$ se a escola oferece Educação Geral e Cursos Profissionalizantes;

X_4 = Existência de quadras de esporte na escola, onde:

$X_4=0$ se a escola não possui quadras;

$X_4=1$ se a escola possui pelo menos uma quadra de esporte;

X_5' e X_5'' variáveis para a representação dos três níveis adotados para o tempo de viagem entre as zonas:

$X_5' = X_5'' = 0$ se o tempo de viagem é superior a 50 min;

$X'_5 = 0$ e $X''_5 = 1$ se o tempo de viagem está entre 30 e 50 min;

$X'_5 = X''_5 = 1$ se o tempo de viagem é inferior a 30 min;

X_6 = realização de eventos culturais e ou esportivos, onde:

$X_6 = 0$ se a escola não organiza ou não participa de eventos;

$X_6 = 1$ se a escola organiza ou participa de pelo menos dois eventos durante o ano letivo;

Estes valores foram atribuídos a partir de uma pesquisa de campo realizada junto às escolas. Para determinar o valor das variáveis X'_5 e X''_5 foram usados os tempos de viagem definidos na matriz $[C_{ij}]$ apresentada na seção 7.4.

Obtivemos então a matriz de utilidades $[U_{il}]$, apresentada no Anexo 4, onde cada elemento é definido pela expressão 7.2.

7.5.5 - Determinação das escolas intervenientes

Para determinar as escolas intervenientes entre cada par (i, j) de origem-destino a partir dos valores da função utilidade apresentados na matriz de utilidades (Anexo 4) e, tendo em vista a distribuição espacial das escolas já apresentada na Tabela 7.1, é utilizado o critério (6.8), ou seja:

Considerando $l = 1, 2, \dots, 29$ e $i, j = 1, 2, \dots, 12$, uma escola l é interveniente entre as zonas i e j se:

- i) $U_{il} > \text{MAX} \{U_{ik}, k \in K, K = \text{conjunto de unidades da zona } j\}$
- ii) $(C_{iq}) \leq (C_{ij})$, onde q é a zona que contém a escola l

onde (C_{ij}) é obtido da matriz de tempos de viagem $[C_{ij}]$.

O conjunto de escolas intervenientes entre cada par (i, j) de origem-destino é definido como em (6.9):

$$(EI)_{ij} = \{\text{unidades } l \text{ que satisfazem as condições (i) e (ii) acima citadas}\}$$

Como exemplo, vamos determinar as escolas intervenientes entre o par origem-destino (3 , 6), isto é, vamos obter $(EI)_{36}$.

Temos:

- origem: $i = 3$ destino: $j = 6$
- Escolas da zona de destino j (zona 6): escola 13 (ver Tabela 7.1)
- $U_{(3)(13)} = 3.35$ (ver Matriz de Utilidades - Anexo 4)
- $(C_{36}) = 30$ min (ver matriz $[C_{ij}]$ na Seção 7.4)

Condição (i): Escolas l tais que $U_{3l} > \left\{ U_{(3)(13)} \right\}$

Escolas l tais que $U_{3l} > 3.35$

A partir da matriz de utilidades temos que as escolas que satisfazem a condição (i) são:

Escolas	Zona a que pertencem as escolas
Escola 23	Zona 2
Escola 17	Zona 3
Escolas 6 , 16 , 25	Zona 4
Escolas 7 , 10 , 11	Zona 5
Escolas 12 , 19	Zona 7

Condição (ii): A partir da matriz de tempos de viagem $[C_{ij}]$, temos:

$$(C_{32}) = 50 > 30 = (C_{36}) \Rightarrow (\text{Escola 23}) \notin (EI)_{36}$$

$$(C_{33}) = 20 < 30 = (C_{36}) \Rightarrow (\text{Escola 17}) \in (EI)_{36}$$

$$(C_{34}) = 50 > 30 = (C_{36}) \Rightarrow (\text{Escolas 6 , 16 , 25}) \notin (EI)_{36}$$

$$(C_{35}) = 30 = 30 = (C_{36}) \Rightarrow (\text{Escolas 7 , 10 , 11}) \in (EI)_{36}$$

$$(C_{37}) = 55 > 30 = (C_{36}) \Rightarrow (\text{Escolas 12 , 19}) \notin (EI)_{36}$$

Assim, concluímos que:

$$(EI)_{36} = \{\text{Escolas: 7 , 10 , 11, 17}\}$$

Este procedimento foi realizado para cada par (i, j) , com $i, j = 1, 2, \dots, 12$.

7.5.6 - Obtenção da matriz de oportunidades intervenientes

Para determinar a matriz de oportunidades intervenientes $[W_{ij}]$ usamos o conjunto de escolas intervenientes $(EI)_{ij}$ juntamente com o vetor de oportunidades, definido em (6.4).

Nesta aplicação a medida de oportunidades de cada escola está relacionada com a capacidade da escola. No entanto, este vetor foi normalizado para assumir valores dentro do intervalo (0,10). O objetivo desta normalização é garantir que os elementos da matriz $[W_{ij}]$ sejam, em valores absolutos, não muito distantes dos valores da matriz de separação espacial $[C_{ij}]$. Isto facilita a calibração do modelo gravitacional de oportunidades e a interpretação do valor dos parâmetros obtidos.

Deste modo, o vetor de oportunidades,

$$[C] = [C_1, C_2, \dots, C_{29}],$$

é dado por:

$$[C] = \begin{bmatrix} 2, 2.6, 2.3, 0.6, 0.3, 0.6, 7, 0.2, 1.7, 9.5, 1.8, 8.5, 1, 0.1, 0.1 \\ 1.4, 4.8, 1.2, 2.3, 2.4, 1.4, 0.4, 0.1, 0.5, 1.9, 0.9, 2.2, 0.7, 0.1 \end{bmatrix} \quad (7.3)$$

onde cada elemento equivale a uma medida da capacidade da escola l com $l = 1, 2, \dots, 29$.

Para determinar o número de oportunidades entre cada par (i, j) , usamos a expressão definida em (6.10): $W_{ij} = \sum_{l \in (EI)_{ij}} C_l$, onde C_l é obtido do vetor (7.3) e o conjunto de escolas intervenientes já foi definido na seção anterior.

Como exemplo, vamos apresentar a obtenção do elemento (W_{36}) .

Temos:

- $(EI)_{36} = \{\text{Escolas: } 7, 10, 11, 17\}$
- Do vetor (7.3) temos: $C_7=7$ $C_{10}=9.5$ $C_{11}=1.8$ $C_{17}=4.8$

$$\text{Logo: } (W_{36}) = \sum_{l \in (EI)_{36}} C_l = 23$$

A seguir apresentamos a matriz de oportunidades intervenientes $[W_{ij}]$ para $i, j = 1, 2, \dots, 12$.

$$[W_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 34 & 27 & 19 & 0 & 25 & 18 & 34 & 24 & 47 & 49 & 43 \\ 39 & 0 & 18 & 23 & 0 & 40 & 18 & 40 & 25 & 47 & 49 & 43 \\ 39 & 23 & 0 & 23 & 0 & 23 & 23 & 47 & 43 & 47 & 49 & 43 \\ 39 & 38 & 27 & 0 & 0 & 34 & 11 & 40 & 40 & 38 & 50 & 40 \\ 38 & 29 & 20 & 18 & 0 & 34 & 11 & 40 & 34 & 33 & 35 & 34 \\ 39 & 35 & 11 & 34 & 0 & 0 & 11 & 43 & 43 & 40 & 51 & 43 \\ 39 & 35 & 29 & 29 & 0 & 34 & 0 & 40 & 40 & 33 & 40 & 40 \\ 39 & 35 & 27 & 34 & 0 & 42 & 11 & 0 & 43 & 18 & 23 & 33 \\ 18 & 18 & 27 & 34 & 0 & 46 & 11 & 46 & 0 & 19 & 50 & 46 \\ 41 & 36 & 34 & 29 & 0 & 46 & 11 & 19 & 36 & 0 & 38 & 36 \\ 40 & 36 & 34 & 29 & 0 & 36 & 11 & 32 & 36 & 29 & 0 & 18 \\ 40 & 36 & 34 & 29 & 0 & 36 & 11 & 32 & 36 & 29 & 20 & 0 \end{bmatrix}$$

7.6- Calibração do modelo gravitacional de oportunidades e estimação do fluxo de estudantes

Tendo sido especificados os valores de O_i e de D_j e determinada a matriz $[C_{ij}]$ de separação espacial e a matriz $[W_{ij}]$ de oportunidades intervenientes, podemos calibrar o modelo gravitacional de oportunidades (6.1),

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j \exp(-\lambda W_{ij} - \beta C_{ij}) \text{ com } i, j = 1, 2, \dots, 12,$$

visando determinar os parâmetros do modelo relativos à esta aplicação. O método utilizado baseia-se no princípio estatístico de máxima verossimilhança para obter o valor dos parâmetros A_i , B_j , λ e β , como foi descrito na seção (6.5). Segundo este método, o modelo é considerado calibrado se o custo médio observado e o número médio observado de oportunidades intervenientes por viagem são reproduzidos pelo modelo. Além disso, as restrições de consistência de fluxos, dadas por $\sum_j T_{ij} = O_i$ e $\sum_i T_{ij} = D_j$ devem ser satisfeitas. O

método é implementado em linguagem pascal através do programa *Calibra.pas*.

Os valores encontrados para o custo médio observado e estimado pelo modelo são aproximadamente iguais (custo médio = 28.65). Os valores do número médio observado e estimado de oportunidades intervenientes por viagem também coincidem (nº médio de oportunidades intervenientes por viagem = 5.77).

Os valores obtidos para os parâmetros que revelam a influência na distribuição de viagens, do tempo de viagem e das oportunidades intervenientes, respectivamente, são: $\beta = 0.02792$ e $\lambda = 0.07805$. Os fatores de balanceamento A_i e B_j são apresentados na Tabela 7.5.

Tabela 7.5 - Fatores de balanceamento obtidos pela calibração do modelo (6.1)

i	A_i	B_j
1	0.98101	0.00040
2	1.26136	0.00083
3	0.74992	0.00072
4	0.87584	0.00056
5	0.92311	0.00010
6	0.85428	0.00154
7	0.84202	0.00039
8	1.29542	0.00057
9	0.75064	0.00113
10	1.52823	0.00071
11	1.52433	0.00076
12	1.40234	0.00078

Uma vez determinados os parâmetros do modelo, pode-se determinar uma matriz estimada $[T_{ij}]$ de distribuição de viagens dos estudantes, contendo os fluxos interzonais e intrazonais dos mesmos. Esta matriz é apresentada a seguir.

$$[T_{ij}] = \begin{bmatrix} 1921 & 18 & 143 & 147 & 1128 & 72 & 414 & 26 & 200 & 1 & 2 & 8 \\ 9 & 271 & 117 & 33 & 398 & 6 & 74 & 5 & 57 & 1 & 1 & 2 \\ 10 & 18 & 1152 & 40 & 363 & 54 & 60 & 3 & 13 & 1 & 1 & 1 \\ 13 & 6 & 70 & 734 & 551 & 17 & 268 & 6 & 17 & 2 & 1 & 4 \\ 41 & 38 & 313 & 233 & 946 & 45 & 606 & 20 & 101 & 10 & 10 & 25 \\ 3 & 2 & 114 & 6 & 129 & 133 & 72 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 8 & 4 & 38 & 28 & 356 & 15 & 817 & 13 & 14 & 2 & 2 & 3 \\ 18 & 10 & 85 & 24 & 674 & 10 & 285 & 667 & 21 & 29 & 12 & 12 \\ 45 & 18 & 36 & 10 & 283 & 3 & 104 & 2 & 658 & 6 & 1 & 1 \\ 10 & 6 & 31 & 29 & 482 & 5 & 203 & 71 & 29 & 99 & 1 & 7 \\ 9 & 5 & 28 & 23 & 500 & 10 & 211 & 15 & 24 & 4 & 123 & 60 \\ 9 & 5 & 27 & 22 & 495 & 10 & 182 & 13 & 23 & 5 & 22 & 277 \end{bmatrix}$$

A obtenção da matriz estimada de distribuição das viagens dos estudantes para frequentar as escolas disponíveis na área de estudo, após a calibração dos parâmetros do modelo gravitacional de oportunidades, é de grande valia para os planejadores dos sistemas escolar e de transporte. Tendo em vista um horizonte de planejamento e a grande dificuldade em conseguir dados observados de forma sistemática, é indispensável a utilização de modelos que resultem em dados confiáveis.

O conhecimento da distribuição das viagens dos estudantes é importante sob diversos aspectos:

- Para a administração das escolas, uma vez que lhes permite conhecer a origem de seus alunos, a qual influencia decisões administrativas da escola, como por exemplo o horário de entrada e saída, a observância de exigências estabelecidas pelo NRE (Núcleo Regional de Ensino) no que se refere a aceitação de alunos e mesmo decisões de nível pedagógico tais como a realização de trabalhos de pesquisa e estágios extra-curriculares, como é o caso dos cursos profissionalizantes.
- A matriz de distribuição de viagens revela-se particularmente útil em estudos de planejamento de transportes, visando o dimensionamento da oferta do sistema de transportes. Neste contexto, o conhecimento do fluxo de alunos para as diferentes escolas é

importante para os gerenciadores do sistema de transportes coletivos, tendo em vista que as viagens ocorrem em horários de pico e podem gerar a necessidade de linhas e ônibus adicionais nestes horários, para proporcionar um serviço adequado às necessidades de cada região e com padrões de eficiência e qualidade aceitáveis.

7.7 - A obtenção do nível de acessibilidade dos estudantes

Para determinar o nível de acessibilidade dos estudantes de cada uma das 12 zonas da área de estudo, usamos o indicador desenvolvido na seção 6.6.

As matrizes, $[C_{ij}]$ de separação espacial e $[W_{ij}]$ de oportunidades intervenientes, que caracterizam a impedância vinculada à acessibilidade dos estudantes às escolas das diferentes regiões da cidade de Londrina, já obtidas nas Seções 7.4 e 7.5, respectivamente, nos permitem calcular a impedância entre cada par (i, j) de origem-destino da área de estudo, usando a definição apresentada em (6.19): $I_{ij} = P_1 C_{ij} + P_2 W_{ij}$.

Os valores de P_1 e P_2 são determinados levando em consideração o valor dos parâmetros $\beta = 0.02792$ e $\lambda = 0.07805$ obtidos com a calibração do modelo gravitacional de oportunidades. Tomando a proporção de influência da separação espacial e das oportunidades intervenientes, dada por β e λ , respectivamente, sobre a distribuição de viagens dos estudantes, obtemos $P_1 = 0.26$ e $P_2 = 0.74$ e a impedância entre cada par (i, j) é dada por:

$$I_{ij} = 0.26C_{ij} + 0.74W_{ij} \quad (7.4)$$

Para determinar a impedância I_i de cada zona i em relação aos n destinos da área de estudo

usamos a definição apresentada em (6.20), $I_i = \frac{\sum_{j=1}^n I_{ij} T_{ij}}{\sum_{j=1}^n T_{ij}}$, onde I_{ij} é dado por (7.1) e (T_{ij}) é o

número de estudantes que viajam da zona i para escolas da zona j . Neste momento usamos os dados da matriz observada para os fluxos de estudantes, apresentada na seção (7.3). Para determinar o nível de acessibilidade A_i para cada uma das zonas usamos o indicador (6.21):

$A_i = 1 / I_i$. Quanto maior o valor de A_i , maior é o nível de acessibilidade dos estudantes desta zona. Os procedimentos descritos foram implementados através do programa *Calaccess.pas* e os resultados são apresentados na Tabela 7.6.

Tabela 7.6 - Valor da Acessibilidade obtido para as zonas de tráfego

ZONA	ACESSIBILIDADE (A_i)
1	0.1057
2	0.0651
3	0.1162
4	0.1328
5	0.1091
6	0.0904
7	0.1629
8	0.0607
9	0.0846
10	0.0447
11	0.0546
12	0.0580

A partir dos resultados obtidos pelo indicador de acessibilidade, apresentados na Tabela 7.6, podemos observar que a distribuição espacial e as características específicas de cada escola, não contemplam de modo homogêneo a população das diferentes regiões da cidade. Grandes desigualdades podem ser observadas. Os casos mais graves se registram na zona 10 e na zona 11, onde ocorrem os menores valores de A_i . Por outro lado, nas regiões mais centrais estes índices atingem valores bastante altos. O maior valor de A_i , alcançado pelos estudantes da zona 7, é 3.68 vezes maior do que o menor valor de A_i , atribuído aos estudantes da zona 10. Isto sinaliza que o sistema escolar não atende atualmente de forma equitativa à população das diferentes regiões da área de estudo.

A Figura 7.2 apresenta a área de estudo distinguindo as regiões segundo o nível de acessibilidade de seus estudantes. Quatro faixas foram estabelecidas para os valores de A_i , considerando os valores mais elevados, intermediários e mais baixos do índice de

acessibilidade. A Tabela 7.7 apresenta o percentual de estudantes que se encontram em cada faixa estabelecida para o nível de acessibilidade. Podemos observar que para 69.1% dos estudantes os índices de acessibilidade estão nas faixas mais elevadas. No entanto, 30.9% dos estudantes da cidade estão incluídos em faixas com valores mais baixos para o índice de acessibilidade.

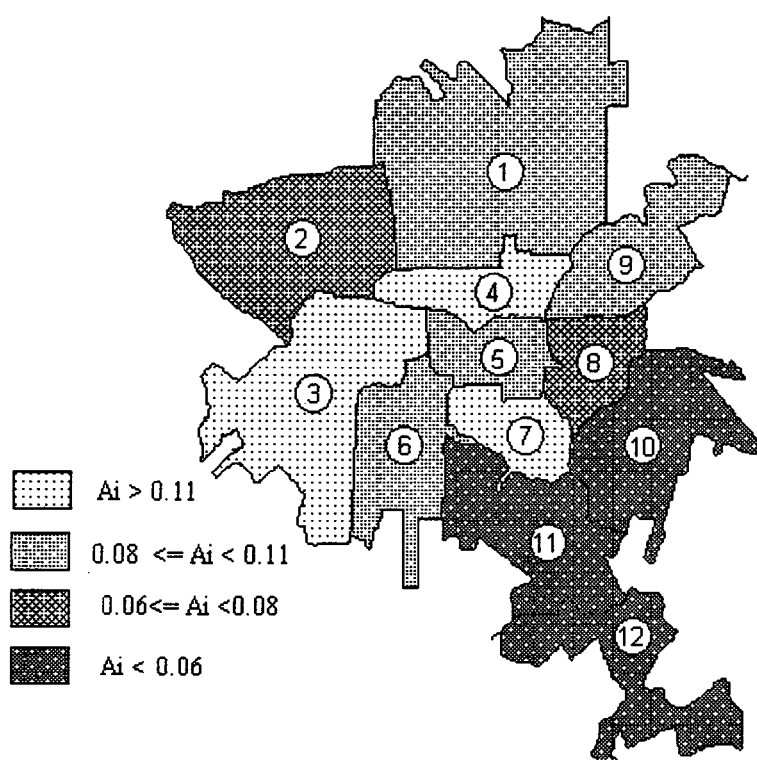


Figura 7.2 - Nível de acessibilidade dos estudantes das zonas de tráfego da área de estudo

Tabela 7.7 - Percentual de alunos em cada faixa de acessibilidade

Percentual de alunos em cada faixa de acessibilidade	
$A_i > 0.11$	25.4%
$0.08 < A_i < 0.11$	43.7%
$0.06 \leq A_i < 0.08$	15.2%
$A_i < 0.06$	15.7%

7.8 - Simulação de algumas situações para o sistema escolar

Partindo da configuração atual do sistema analisado nesta aplicação, simulamos algumas intervenções possíveis sobre este sistema, tendo em vista os dados que nos estão disponíveis. O que se pretende nestas simulações, é avaliar o impacto da estratégia simulada, no sentido de obter um sistema educacional que atenda de forma mais equitativa à população das diferentes regiões da área de estudo. Deste modo, é recomendável que as intervenções sejam realizadas nas zonas onde atualmente se observa baixo índice de acessibilidade dos estudantes. As estratégias sugeridas têm caráter ilustrativo, no sentido de avaliar a aplicabilidade da metodologia.

O indicador desenvolvido estabelece uma acessibilidade relativa para cada zona *i*. Deste modo, as intervenções sobre zonas específicas irão alterar o nível de acessibilidade das demais zonas.

• Simulação 1: Localização de uma unidade adicional no sistema

A localização de unidades escolares adicionais no sistema é uma estratégia que merece ser analisada, tendo em vista, por um lado, o crescimento populacional observado e, por outro lado, o processo de expansão do ensino médio e o incentivo à população para atingir este grau de escolaridade que transparece nas políticas educacionais vigentes.

Embora não pertença à metodologia aplicada, diretamente, convém citar que, segundo Pizzolato e Silva (1996), estudos de custos de operação de uma escola, concluem que a escola mais econômica é aquela com 10 a 20 salas de aula, ou seja, uma escola que comporta de 300 a 700 alunos por turno. O estudo sugere que o custo por aluno nas pequenas escolas é alto porque existem custos fixos que, rateados pelo pequeno número de alunos, resultam em custos per capita elevados. Por outro lado, nas escolas muito grandes surgem diversas ineficiências, como também a necessidade de serviços adicionais, de forma que o custo se torna elevado.

O cenário construído consiste na localização de uma escola adicional na zona 10 da área de estudo, onde ocorre atualmente o menor índice de acessibilidade. Supõe-se uma estrutura física para o estabelecimento com capacidade total de 900 estudantes e que contaria com quadra poliesportiva e laboratórios de Físico-Química e de Informática. Além disso, supomos que os atributos: realização de eventos e formação dos professores, teriam valor 1 (um) atribuído à

variável associada no cálculo da utilidade relativa da escola. No entanto seria uma escola que oferece apenas o curso de Educação Geral. A inclusão desta escola no sistema gera uma nova matriz de oportunidades intervenientes, novos totais marginais, e uma nova distribuição de viagens dos estudantes. Este novo conjunto de dados é utilizado no cálculo da acessibilidade, cujos valores são apresentados na Tabela 7.9.

• **Simulação 2: Transformações em unidades escolares existentes**

A reforma de escolas públicas voltada ao atendimento de necessidades básicas de cada escola e à modernização exigida pela sociedade, é uma estratégia constante nas atitudes do governo do estado, gestor das escolas públicas em estudo.

As melhorias simuladas nas escolas para este cenário, consistem em reformas voltadas às características eleitas pelos estudantes e são apresentadas na Tabela 7.8. Estas intervenções modificam a utilidade relativa destas escolas e levam a uma nova matriz de oportunidades intervenientes.

Tabela 7.8- Melhorias previstas para as escolas

Zona	Escola	Melhoria prevista
2	26	Laboratórios e Promoção de eventos
8	20	Laboratórios e Cursos profissionalizantes
10	5	Laboratórios e Promoção de eventos
11	22	Laboratórios, Cursos profissionalizantes e Quadras esportivas
12	18	Laboratórios e Cursos profissionalizantes

Uma estratégia (muitas vezes política) vigente, especialmente no Estado do Paraná, consiste em atribuir às prefeituras municipais a responsabilidade do ensino fundamental (1^a a 4^a séries do 1^o grau). Deste modo, neste cenário, incluímos mudanças previstas na atratividade das zonas 10 e 11, relativas à municipalização do ensino fundamental. Neste caso, os estudantes destas séries iniciais que freqüentam escolas das zonas 10 e 11, passariam para escolas municipais específicas, gerando maior número de vagas para estudantes do ensino médio nestas zonas. Isto conduz a novos valores para o vetor de atratividade D_j .

Estas mudanças levam a uma nova distribuição de viagens e modificam o nível de acessibilidade dos estudantes. Os novos valores são apresentados na Tabela 7.9.

7.9- Análise comparativa dos resultados

Uma vez obtido o valor da acessibilidade para as zonas de tráfego para a situação atual e para os cenários alternativos simulados, é possível avaliar o impacto de cada intervenção sobre a acessibilidade dos indivíduos, bem como os ganhos para o sistema em termos de equidade.

A Tabela 7.9 apresenta o valor da acessibilidade para as diferentes configurações, bem como os valores de M_i^s , com:

$$M_i^s = \frac{A_i^s}{A_i}, \text{ para } i = 1,2,\dots,12 \text{ e } s = 1,2 \quad (7.5)$$

onde:

A_i é o índice de acessibilidade dos estudantes na configuração atual;

A_i^s é o índice de acessibilidade dos estudantes na Simulação s ;

M_i^s estabelece a relação entre o índice de acessibilidade dos estudantes de cada zona i na configuração atual e o índice de acessibilidade dos estudantes desta mesma zona na Simulação s .

Valores de $M_i^s > 1$ denotam que a acessibilidade dos estudantes da zona i na Simulação s é maior do que a acessibilidade destes mesmos estudantes na configuração atual.

Tendo em vista o número diferenciado de estudantes que compõe a demanda O_i de cada zona, definimos o índice :

$$D_s = \frac{\sum_{i=1}^n O_i M_i^s}{\sum_{i=1}^n O_i}, \text{ para } i = 1,2,\dots,12 \text{ e } s = 1,2 \quad (7.6)$$

para observar se houve ganhos no nível de acessibilidade para o conjunto total de estudantes do sistema, em cada cenário em relação à situação atual.

Temos:

$$D_1 = \frac{\sum_{i=1}^n O_i M_i^1}{\sum_{i=1}^n O_i} = 1.1881 \quad D_2 = \frac{\sum_{i=1}^n O_i M_i^2}{\sum_{i=1}^n O_i} = 1.0335$$

Como temos $D_1 > 1$ e $D_2 > 1$, podemos concluir que houve ganhos ou melhorias em relação ao cenário base, que corresponde à situação atual, nos dois cenários simulados. Além disso, da comparação entre D_1 e D_2 , ($D_1 > D_2$), verificamos que as melhorias proporcionadas ao sistema na Simulação 1 superam em 14.95% as melhorias proporcionadas pela Simulação 2.

Tabela 7.9 - Valor da acessibilidade para as diferentes configurações do sistema escolar

Zona	A_i (configuração atual)	A_i^1 (simulação 1)	A_i^2 (simulação 2)	$M_i^1 = \frac{A_i^1}{A_i}$	$M_i^2 = \frac{A_i^2}{A_i}$
1	0.1057	0.1073	0.1003	1.0151	0.9489
2	0.0651	0.0640	0.0732	0.9831	1.1244
3	0.1162	0.1417	0.1171	1.2194	1.0077
4	0.1328	0.1339	0.1302	1.0082	0.9804
5	0.1091	0.1279	0.1134	1.1723	1.0394
6	0.0904	0.0939	0.0918	1.0387	1.0154
7	0.1629	0.1355	0.1623	0.8317	0.9960
8	0.0607	0.0805	0.0609	1.3261	1.0032
9	0.0846	0.1135	0.0907	1.3416	1.0721
10	0.0447	0.1095	0.0565	2.4496	1.2639
11	0.0546	0.0546	0.0701	1.0000	1.2883
12	0.0580	0.0790	0.0580	1.3620	1.0000

Observamos que os cenários simulados também proporcionam mudanças, no sentido de incluir maior percentual de estudantes nos grupos com índices mais elevados de acessibilidade. Estes dados são apresentados na Tabela 7.10.

Tabela 7.10- Percentual de estudantes por faixa de acessibilidade nas diferentes configurações

	Percentual de alunos em cada faixa de acessibilidade		
	Configuração atual	Simulação 1	Simulação 2
$A_i > 0.11$	25.4%	44.1%	37.9%
$0.08 < A_i < 0.11$	43.7%	39.4%	30.5%
$0.06 \leq A_i < 0.08$	15.2%	11.1%	20.5%
$A_i < 0.06$	15.7%	5.4%	11%

7.9.1 - Análise da equidade

O se pretende nesta seção é avaliar os possíveis ganhos em termos de equidade nos níveis de acessibilidade alcançados pelos estudantes das 12 zonas da área de estudo, de cada simulação em relação à configuração atual.

A equidade nos índices de acessibilidade entre os diferentes grupos de estudantes pode ser medida avaliando o grau de variabilidade (ou de dispersão) dos valores dos índices A_i^s em torno do seu valor médio. As medidas usadas neste trabalho, recomendadas em Mulligan (1991) e denominadas por este autor de *medidas de equidade*, são *Desvio Médio* e *Desvio Padrão*.

O *Desvio Médio* e o *Desvio Padrão*, respectivamente, para cada conjunto de valores A_i^s são dados por:

$$\text{Desvio Médio: } D_M = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i^s - \bar{A}^s|}{n} \quad (7.7)$$

$$\text{Desvio Padrão: } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i^s - \bar{A}^s)^2}{n}} \quad (7.8)$$

Os valores para o *Desvio Médio* e o *Desvio Padrão* para cada uma das configurações do sistema são apresentados na Tabela 7.11.

Os valores da acessibilidade são distribuídos de forma mais eqüitativa entre os estudantes à medida em que, os valores de A_i^s tendem a concentrar-se próximos da média, ou seja, à medida em que D_M e σ estão mais próximos de zero. Isto equivale a dizer que, se D_M e σ são muito pequenos então há grande eqüidade entre as 12 zonas da área de estudo, no que se refere ao acesso dos estudantes às escolas.

Os valores apresentados na Tabela 7.11 permitem concluir que a eqüidade no acesso às escolas entre os estudantes das diferentes zonas, é maior no cenário simulado para o sistema na Simulação 1.

Tabela 7.11 - Desvio Médio e Desvio Padrão dos conjuntos de Índices de Acessibilidade

	Configuração atual	Simulação 1	Simulação 2
<i>Desvio Médio</i>	0.0291	0.0242	0.0257
<i>Desvio Padrão</i>	0.0344	0.0278	0.0312

7.10 - Considerações finais

Consideramos que, do ponto de vista prático, os resultados da aplicação fornecem um conjunto amplo de informações sobre o ensino médio nas escolas públicas da cidade de Londrina as quais, sem dúvida são importantes para administradores, professores e estudantes do sistema.

As estratégias avaliadas através das simulações proporcionam aos administradores, informações que podem ser levadas em conta, especialmente na fase de planejamento, para a definição de ações sobre o sistema, sujeitas às restrições orçamentárias do setor.

Do ponto de vista teórico, a aplicação da metodologia ilustra e esclarece suas nuances enquanto instrumental metodológico passível de uso na análise de propostas de intervenção sobre o sistema.

CAPÍTULO 8

UMA ANÁLISE DOS MODELOS USADOS NA METODOLOGIA

8.1 - Introdução

No Capítulo anterior foi apresentada uma aplicação da metodologia proposta, onde o modelo gravitacional de oportunidades, incorporando aspectos comportamentais, foi usado para estimar o fluxo de estudantes entre as diferentes regiões de uma área de estudo. O indicador de acessibilidade foi usado para determinar um índice de acessibilidade para os estudantes de cada uma destas regiões na situação em que o sistema se encontra atualmente e em algumas configurações possíveis para o mesmo.

Neste Capítulo, os resultados obtidos com esta aplicação são usados com o objetivo de:

- Avaliar o desempenho do modelo gravitacional de oportunidades, onde as oportunidades intervenientes são determinadas através da técnica de preferência declarada.
- Analisar os resultados obtidos através do indicador de acessibilidade desenvolvido, no qual são incorporados fatores relativos ao comportamento de escolha dos estudantes quando de suas viagens por motivo escola, estabelecendo uma comparação com resultados obtidos para a mesma área de estudo através de indicadores já encontrados na literatura, tendo em vista o conjunto de dados conhecido sobre esta área.

8.2 - Análise do desempenho do modelo gravitacional de oportunidades

De forma geral, o desempenho de um modelo de distribuição de viagens é avaliado medindo-se a *proximidade* entre a matriz de fluxos estimada pelo modelo e a matriz de fluxos observada na área de estudo.

Com esta finalidade é usada a matriz observada da distribuição das viagens dos estudantes, $[T^*_{ij}]$, apresentada na Seção 7.3.

Para medir a *proximidade* entre esta matriz observada e a matriz estimada pelo modelo, são usadas algumas estatísticas, conhecidas na literatura como medidas de *goodness-of-fit* (ver Wilson, 1976; Gonçalves, 1992).

Neste trabalho, usamos três destas estatísticas, descritas a seguir, onde a seguinte notação é utilizada:

T_{ij} = número estimado de viagens entre o par (i, j) ;

T_{ij}^* = número observado de viagens entre o par (i, j) ;

T^* = número total de viagens observadas na área de estudo.

- *Índice de dissimilaridade (ID)*: é definido pela equação

$$ID = \frac{50}{T^*} \sum_{ij} |T_{ij}^* - T_{ij}| \quad (8.1)$$

e mede a porcentagem de viagens que necessitam ser realocadas entre os pares de origem-destino (i, j) , a fim de que a matriz de viagens estimada coincida com a observada (ver Gonçalves, 1992). O valor desta estatística foi obtido através do programa computacional *Indice.Pas*, desenvolvido em linguagem Pascal.

- *Estatística phi normalizada (NPFI)*: é definida por

$$NPFI = \sum_{ij} \frac{T_{ij}^*}{T^*} \left| \ln \left(\frac{T_{ij}^*}{T_{ij}} \right) \right| \quad (8.2)$$

e assume o valor zero quando as matrizes de viagens observada e estimada coincidem; é julgada adequada para avaliar o desempenho de modelos de distribuição de viagens alternativos (Smith e Hutchinson, 1981). O valor da estatística foi obtido através do programa computacional *Phinorma.Pas*, desenvolvido em linguagem Pascal.

- *Erro quiquadrado* (χ^2): é definido por

$$\chi^2 = \sum_{ij} \frac{(T_{ij}^* - T_{ij})^2}{T_{ij}} \quad (8.3)$$

e seu valor se torna maior à medida em que a disparidade entre $[T_{ij}^*]$ e $[T_{ij}]$ aumenta. Os testes com essa medida produzem valores de χ^2 bastante elevados (ver Wilson, 1976). O valor do *Erro Quiquadrado* foi obtido pelo programa *Erroqui.Pas*, desenvolvido em linguagem Pascal.

8.2.1 - Os resultados obtidos

O valor obtido para cada uma das estatísticas é apresentado na Tabela 8.1. Estes valores estão coerentes com resultados obtidos em pesquisas anteriores (ver Ulysséa Neto, 1988; Gonçalves, 1992; Thomas, 1977).

Para o índice de dissimilaridade, por exemplo, Gonçalves (1992) obteve 19.23; Thomas (1977), no entanto, encontrou o valor 27.45 para este índice.

Assim, os resultados obtidos nos permitem observar que o procedimento desenvolvido constitui uma ferramenta com aspectos inovadores e é viável no que se refere à determinação e ao entendimento da distribuição de viagens para o segmento estudado na área de estudo analisada.

8.2.2 - Aplicação do modelo gravitacional à área de estudo

A fim de avaliar os resultados obtidos pelo modelo gravitacional de oportunidades (6.1), decidiu-se aplicar à mesma área de estudo o modelo gravitacional duplamente restrito, já apresentado em (3.1), dado por:

$$T_{ij} = A_i B_j O_i D_j \exp(-\beta C_{ij}), \text{ com } i, j = 1, 2, \dots, 12.$$

Este modelo foi então calibrado através do procedimento de Furness e Método das Secantes, descritos em Gonçalves (1992), usando o mesmo conjunto de dados, através do programa *CalibraG. Pas* e obteve-se então a matriz estimada $[TG_{ij}]$. As mesmas estatísticas dadas pelas

equações (8.1), (8.2) e (8.3) foram calculadas usando esta matriz estimada. Os valores obtidos para ambos os modelos constam na Tabela 8.1.

Tabela 8.1 - Valor das estatísticas usadas para avaliar o desempenho do modelo

Estatística	Modelo Gravitacional	Modelo gravitacional de oportunidades
<i>Índice de dissimilaridade</i>	25.3729	22.9395
<i>Phi normalizada</i>	0.5045	0.4757
<i>Erro Quiquadrado</i>	41686988	33554432

Podemos observar que as três estatísticas apresentam valores melhores para o modelo gravitacional de oportunidades incorporando aspectos comportamentais. Deste modo pode-se concluir que este modelo apresenta bom desempenho para estimar o número de viagens entre as zonas de tráfego do sistema educacional em análise.

8.3 - Uma análise do indicador de acessibilidade

No capítulo 5 observamos que a acessibilidade pode ser vista como resultado da complexa interação entre um sistema de atividades e o sistema de transportes de uma área de estudos. Para mensurar a acessibilidade dos indivíduos às atividades, muitos indicadores têm sido desenvolvidos, os quais envolvem diferentes tipos de informações sobre a região ou o sistema que está sendo estudado.

No Capítulo 6 desenvolvemos um indicador de acessibilidade que permite incorporar aspectos do sistema de atividades, do sistema de transportes e do comportamento dos indivíduos, o qual, no Capítulo 7, foi aplicado para avaliar o acesso dos estudantes às escolas públicas de uma área de estudo.

A partir dos resultados obtidos nesta aplicação, os quais nos permitem estabelecer um ranking entre as diferentes regiões da área de estudo em relação ao nível de acesso dos estudantes às escolas, algumas questões fundamentais podem ser formuladas:

- Quais são as conseqüências das diferentes abordagens dadas a questão da acessibilidade em relação a determinação deste ranking? É possível que indicadores diferenciados resultem em resultados completamente diferentes para estas regiões?
- A equidade no acesso às escolas entre as diferentes regiões, ou, entre os estudantes das diferentes regiões, apresenta grande variabilidade nos resultados obtidos por diferentes indicadores?

Um procedimento clássico recomendado na literatura para responder a questões deste tipo (Bruinsma e Rietveld, 1998; Tagore e Sikdar, 1995; Gutiérrez et al, 1998) é a aplicação de indicadores de acessibilidade diferentes à mesma área de estudo.

Com este objetivo, aplicamos ao mesmo sistema escolar dois outros indicadores.

- O modelo de Hansen, apresentado em (5.9) e denotado aqui por A_i^H é dado por:

$$A_i^H = \sum_{j=1}^n \frac{D_j}{(C_{ij})^2}$$

onde:

D_j é atratividade da zona j ;

C_{ij} é o tempo de viagem entre o par (i, j) ;

- Um indicador de acessibilidade envolvendo apenas a separação espacial. Para isto, usamos o custo médio generalizado da zona i , apresentado em (5.6):

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij} T_{ij}}{\sum_{j=1}^n T_{ij}}$$

onde:

C_{ij} é o tempo de viagem entre o par (i, j) ;

T_{ij} é o fluxo de estudantes entre o par (i, j) ;

e o índice da acessibilidade dos estudantes da zona i é dado por:

$$A_i^c = \frac{1}{C_i}$$

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 8.2. Para visualizar o ranking das zonas para os três casos, os índices foram apresentados em ordem decrescente. Para tornar os resultados mais facilmente comparáveis, os índices foram transformados, tomando o índice de maior valor obtido como sendo 1 (um) em cada indicador de acessibilidade.

Tabela 8.2 - Valores da acessibilidade obtidos pelos diferentes indicadores

$A_i = \frac{1}{I_i}$ (Indicador Desenvolvido)			$A_i^c = \frac{1}{C_i}$ (Usando apenas separação espacial)			$A_i^H = \sum_{j=1}^n \frac{D_j}{(C_{ij})^2}$ (Modelo de Hansen)		
ranking	Zona	A_i	ranking	Zona	A_i^c	ranking	Zona	A_i^H
1°	7	1.000	1°	5	1.000	1°	5	1.000
2°	4	0.814	2°	4	0.903	2°	4	0.567
3°	3	0.716	3°	7	0.865	3°	7	0.466
4°	5	0.672	4°	3	0.750	4°	6	0.379
5°	1	0.648	5°	9	0.673	5°	9	0.360
6°	6	0.555	6°	6	0.669	6°	3	0.343
7°	9	0.518	7°	1	0.653	7°	2	0.336
8°	2	0.401	8°	2	0.576	8°	10	0.330
9°	8	0.370	9°	10	0.557	9°	1	0.328
10°	12	0.358	10°	12	0.523	10°	11	0.319
11°	11	0.333	11°	11	0.492	11°	12	0.315
12°	10	0.271	12°	8	0.486	12°	8	0.271

Para observar a relação existente entre os índices de acessibilidade obtidos com o indicador desenvolvido e aqueles provenientes de indicadores já conhecidos, a literatura recomenda a utilização de *coeficientes de correlação* (ver Bruinsma e Rietveld, 1998; Talen e Anselin, 1998).

Como podemos ver em Espirito Santo e Martins (1987) e Levin (1987), um *coeficiente de correlação* é um índice que descreve quanto dois conjuntos de dados estão relacionados. Dados dois conjuntos X_1 e X_2 , uma correlação positiva indica que escores baixos de X_1 se identificam com escores baixos de X_2 , enquanto que escores altos de X_1 se identificam com escores altos de X_2 . Uma correlação negativa significa que à proporção que os escores de X_1 crescem, escores de X_2 decrescem. Seus valores oscilam entre -1 e $+1$ e, determinam o sentido e a força da correlação do seguinte modo:

Valor do coeficiente	Sentido e força da correlação
+1,00 (-1,00)	⇔ correlação positiva (negativa) perfeita
(+1,00 → +0.80) ((-1,00 → -0.80))	⇔ correlação positiva (negativa) forte
(+0.80 → +0.50) ((-0.80 → -0.50))	⇔ correlação positiva (negativa) moderada
(+0.50 → +0.10) ((-0.50 → -0.10))	⇔ correlação positiva (negativa) fraca
0	⇔ ausência de correlação

Neste trabalho usamos dois destes coeficientes, considerados adequados segundo Bruinsma e Rietveld (1998) e Talen e Anselin (1998), onde a seguinte notação é utilizada:

A_i = índice de acessibilidade obtido através do indicador desenvolvido neste trabalho;

A_i^C = índice de acessibilidade obtido através do indicador de custo médio generalizado C_i ;

A_i^H = índice de acessibilidade obtido através do modelo de Hansen;

n = número de zonas da área de estudo;

- Coeficiente Produto-Momento de Pearson (correlação linear):

$$r = \frac{n(\sum_n A_i A_i^C) - (\sum_n A_i)(\sum_n A_i^C)}{\sqrt{[n\sum_n A_i^2 - (\sum_n A_i)^2][n\sum_n A_i^C - (\sum_n A_i^C)^2]}} \quad (8.4)$$

Analogamente determinamos a correlação r entre A_i e A_i^H .

- Coeficiente rho de Spearman : é também conhecida como correlação ordenada em pontos (rank correlation). Assume valor (+1) quando os pares ordenados estão na mesma ordem e assume valor (-1) quando estão em ordem inversa. É dado por:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum (A_i - A_i^C)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (8.5)$$

Analogamente determinamos a correlação ρ entre A_i e A_i^H . Os valores para estes coeficientes foram obtidos através do software *Estatística* e são apresentados na Tabela 8.3.

Tabela 8.3 - Valores obtidos para os Coeficientes de Correlação

Coeficiente	Correlação entre A_i e A_i^C	Correlação entre A_i e A_i^H
r	0.837 (p<0.01)	0.445 (p<0.05)
ρ	0.860 (p<0.01)	0.741 (p<0.01)

Observando o coeficiente r de Pearson, podemos concluir que há uma correlação positiva forte entre A_i e A_i^C . Entre A_i e A_i^H este coeficiente registra uma correlação positiva fraca. Este fato é comum na literatura (ver Talen e Anselin, 1998) quando se compara resultados entre índices obtidos de modelos de acessibilidade gravitacionais, como é o caso do modelo de Hansen, e outros que não são gravitacionais. Pelo coeficiente de Spearman a correlação entre A_i e A_i^C também se mostra positiva forte, enquanto entre A_i e A_i^H este coeficiente indica uma correlação positiva moderada. Os valores de p denotam que as correlações são estatisticamente significativas.

Para comparar a equidade existente entre as diferentes zonas da área de estudo no que se refere ao acesso dos estudantes às escolas, observada para área de estudo através do índice determinado pelos três indicadores, usamos o *coeficiente de variação*:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{A}_i} \times 100 \quad (8.6)$$

onde:

σ é o desvio-padrão do conjunto de índices de acessibilidade para as 12 zonas;

\bar{A}_i é a média do conjunto de índices de acessibilidade para as 12 zonas;

Trata-se de uma medida relativa de dispersão, útil para a comparação em termos relativos do grau de concentração dos valores em torno da média. O valor deste coeficiente é expresso em porcentagens (ver por exemplo Espirito Santo e Martins, 1987). Os valores determinados constam na Tabela 8.4.

Tabela 8.4 - Valores do Coeficiente de Variação (CV) para os indicadores de acessibilidade

	A_i	A_i^C	A_i^H
CV	38.29 %	23.89 %	45.74 %

Podemos observar que, segundo este teste estatístico, o modelo aqui desenvolvido demonstra uma distribuição do nível de acessibilidade menos equitativa entre as zonas que compõe a área de estudo, do que o indicador que usa apenas a separação espacial. Isto nos leva a pensar que as oportunidades intervenientes, incluídas no novo indicador, apresentam uma distribuição menos homogênea na área analisada.

No caso do modelo de Hansen, a alta dispersão indica grandes diferenças entre o nível de acessibilidade das diferentes zonas. Este indicador envolve diretamente a atratividade D_j , que apresenta grande variação entre as zonas, como podemos observar na Tabela 7.1.

CAPÍTULO 9

CONCLUSÕES, CONTRIBUIÇÕES E SUGESTÕES PARA ESTUDOS POSTERIORES

9.1 - Conclusões

O presente trabalho realiza uma análise , a partir de um embasamento teórico, da performance de um sistema educacional e avalia os impactos causados por intervenções projetadas para o mesmo.

As pesquisas na área educacional estão voltadas a avaliação e interpretação científica do conjunto de atividades desenvolvidas no âmbito dos sistemas educacionais. A dinâmica destes sistemas requer uma avaliação continuada e com estreita relação com a sociedade.

Inovações no desenvolvimento e aprimoramento dos sistemas educacionais não podem estar alheias à garantia de educação à todos com padrões de qualidade, acessibilidade e igualdade de oportunidades.

A proposta fundamental deste trabalho não objetiva apresentar uma solução que supere outras já existentes, até porque, tendo em vista a complexidade dos sistemas educacionais, realçada no Capítulo 2, são inúmeros os enfoques que podem ser dados aos problemas detectados no setor. Antes porém, o que se faz é desenvolver um método que possa ser eficiente para a análise de segmentos e variáveis particulares e também possibilite a incorporação dos interesses dos próprios estudantes nos modelos matemáticos usados para analisar um sistema educacional.

Neste sentido, alguns resultados podem ser evidenciados:

- A interação entre modelos de interação espacial e modelos comportamentais e sua aplicação aos sistemas educacionais, foi viabilizada neste trabalho.

- A metodologia introduzida para a definição das oportunidades intervenientes, baseada em técnica de preferência declarada, mostrou-se operacional e robusta, apresentando resultados estatisticamente significantes.
- Os efeitos de impedância aos deslocamentos devidos ao tempo de viagem e às oportunidades intervenientes são, efetivamente, complementares.
- Considerando que as viagens por motivo escola ocorrem nos horários de pico, a obtenção de uma matriz estimada para a distribuição dos fluxos de estudantes em uma área urbana, é de grande importância para o planejamento urbano, podendo contribuir para a formulação de políticas alternativas de transporte, bem como para o planejamento da distribuição espacial das unidades escolares.
- O conhecimento do nível de acesso dos estudantes às escolas públicas, como foi viabilizado pelo método desenvolvido neste trabalho, pode ser uma ferramenta para planejadores e administradores públicos, orientando a distribuição dos recursos disponíveis.
- A análise do desempenho dos modelos usados na metodologia, realizada através de ferramentas estatísticas apropriadas, revela que estes são robustos, operacionais e com confiabilidade significativa.
- O estudo de caso serviu para revelar a praticidade e operacionalidade da metodologia e demonstra que esta pode ser um instrumental de avaliação de propostas para o sistema uma vez que permite antever os impactos destas propostas sobre grupos específicos da população.
- As informações que procedem da aplicação da técnica de preferência declarada revelam que os estudantes do ensino médio da área de estudo preferem aspectos de caráter qualitativo da escola ao tempo do tempo de viagem entre residência e escola, ao contrário do que se supõe em diversos estudos encontrados na literatura, que usam a hipótese de alocação à escola mais próxima.
- Os resultados relativos à análise da acessibilidade dos estudantes às escolas, esclarecem que há variações moderadas entre o nível de acessibilidade obtido pelos estudantes das diferentes regiões da área de estudo. As simulações realizadas nos permitem pensar que há soluções, possíveis do ponto de vista social e econômico, que possam melhorar o sistema analisado.
- Nesta aplicação algumas limitações nos dados ainda foram verificadas. Tais limitações dizem respeito, principalmente, a demanda de estudantes para freqüentar escolas de nível

médio. Segundo a pesquisa de campo preliminar realizada, 62.7% dos estudantes têm entre 14 e 17 anos. No entanto, os dados disponíveis são da faixa de população entre 14 e 19 anos.

- A metodologia apresentada neste trabalho proporciona uma avaliação abrangente da organização espacial e das características relevantes das escolas que compõe o sistema educacional, bem como das facilidades de acesso à escola escolhida pelo estudante. Para se obter uma análise mais completa da performance de um sistema educacional, os resultados possíveis de se obter neste estudo, podem ser complementados com resultados decorrentes de estudos que analisam a qualidade da escola e do ensino, onde aspectos pedagógicos são incluídos nos instrumentos de avaliação.
- A metodologia introduzida para sistemas escolares pode ser facilmente adaptada à outras áreas de estudo e à outros sistemas.

9.2- Contribuições

Nesta seção salientam-se contribuições que, segundo a visão da autora, este trabalho trouxe para a área científica em que está inserido.

- Uma das dificuldades na utilização de modelos de oportunidades intervenientes e dos modelos gravitacionais de oportunidades é a definição apropriada do que seja uma oportunidade interveniente. Neste sentido, a operacionalização do conceito de oportunidade interveniente, viabilizada neste trabalho, constitui uma ferramenta para que estes modelos possam ser aplicados no planejamento da localização e dimensionamento de atividades urbanas e na determinação da distribuição das viagens dos indivíduos na utilização destas atividades.
- A incorporação de aspectos relativos ao comportamento dos indivíduos no modelo de distribuição de viagens, interagindo modelo de interação espacial com modelo de escolha discreta foi realizada neste trabalho. A utilização de técnicas de preferência declarada como forma de medir estatisticamente as preferências dos estudantes em relação às características da escola e a inclusão destas preferências no modelo gravitacional de oportunidades é uma contribuição importante deste trabalho.
- A estimativa da distribuição de viagens de categorias específicas, como é realizada na aplicação deste trabalho para o caso de estudantes, não é um procedimento muito usual na literatura. Os métodos clássicos de determinação de matrizes O - D em geral, não levam em

consideração o propósito da viagem ou a categoria de viajantes. No entanto, o conhecimento do fluxo de passageiros de uma categoria específica da população é de grande valia, especialmente quando se trata da análise de sistemas de serviços públicos.

- Os indicadores de acessibilidade mais presentes na literatura incluem parâmetros relativos à separação espacial e, ou, às atividades. No entanto, diversos autores têm mencionado a importância de incluir aspectos relativos ao comportamento dos indivíduos na escolha das viagens. Todavia, a literatura que trata do assunto ainda é muito escassa, no que se refere a inclusão destes aspectos no indicador de acessibilidade. Neste trabalho estes fatores foram incluídos no modelo desenvolvido e pesos diferenciados foram atribuídos à separação espacial e a impedância não espacial entre a origem do usuário e a unidade de destino, a qual incorpora estes aspectos.

9.3 - Sugestões para estudos posteriores

Segundo a visão da autora deste trabalho, quando se conclui (na realidade não se conclui) um trabalho de pesquisa, surgem novos pontos que poderão ser enfocados em pesquisas posteriores e que, de certo modo, representam uma continuidade do estudo atual.

Alguns pontos, que dizem respeito a este trabalho e, segundo a visão da autora, merecem ser investigados são:

- Os estudos sobre a análise da acessibilidade dos usuários aos serviços públicos têm aparecido com grande frequência na literatura. Diferentes variáveis são usadas para medir o potencial de acesso destes usuários. No entanto, a verificação para observar se um nível de acessibilidade é *bom* ou *ruim* depende de cada situação particular, das variáveis que caracterizam este acesso, e do ponto de vista daqueles que irão interpretar estes valores. Neste contexto, este trabalho visa analisar a questão da equidade observada na acessibilidade dos usuários de diferentes regiões da área de estudo. Neste sentido, uma pesquisa posterior, voltada à comparação do nível de acessibilidade entre áreas de estudo diferenciadas permite uma avaliação mais completa. No caso das escolas públicas de nível médio, seria interessante obter resultados para diferentes cidades do Estado do Paraná e estabelecer uma análise comparativa entre eles. Os resultados do Censo Escolar 1999, realizado em todo o Brasil, e cujos resultados estarão à disposição dos Núcleos Regionais de Ensino, podem auxiliar na obtenção dos dados necessários.

- A interação dos resultados obtidos com a metodologia desenvolvida e com resultados sobre a avaliação da escola e do ensino, que são contemplados com instrumentos que permitem a avaliação de aspectos pedagógicos, também pode ser realizada.
- Na análise locacional realizada neste trabalho, as simulações para o sistema foram voltadas à instalação de novos estabelecimentos escolares, reformas em escolas já existentes e remanejamento de vagas entre escolas municipais e estaduais. Uma linha possível de trabalho futuro envolve precisamente estudo das redes de transporte em alternativa à ações aqui analisadas.
- A investigação sobre a definição dos pesos atribuídos à separação espacial e às oportunidades intervenientes no indicador de acessibilidade realizada neste trabalho merece ser continuada. Embora ensaios já tenham sido realizados neste sentido, o assunto ainda deve ser mais explorado.
- A definição de um indicador de acessibilidade do tipo gravitacional, como foi apresentado em (5.10), incorporando a matriz $[W_{ij}]$ de oportunidades intervenientes é de grande interesse.
- O campo de aplicação deste tipo de ferramental é muito amplo e fértil, com desdobramentos sociais nítidos, levando-nos a encorajar futuros pesquisadores a prosseguir nas investigações dessa classe de problemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, B W; LIU, D e SINGER, S (1993) Accessibility measures of metropolitan areas. *Transportation Research B*, Vol 27 B, No 6, pp 439-449.
- ALMEIDA, L M W e GONÇALVES, M B (1996) Um estudo sobre modelos de localização e alocação e critérios de equidade para os serviços públicos. *Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET*, Vol 1, pp 189-197, Brasília.
- ALMEIDA, L M W e GONÇALVES, M B (1998a) Modelos de interação espacial e critérios de equidade: uma aplicação à distribuição de escolas. *Anais X Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito e Transporte*, Vol 1 pp 668-670, Santander, Espanha.
- ALMEIDA, L M W e GONÇALVES, M B (1998b) Desenvolvimento de uma metodologia para incorporar aspectos comportamentais em um modelo gravitacional de oportunidades para distribuição de viagens. *Anais do XII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET*, Vol 1, pp 629-641, Fortaleza.
- ALMEIDA, L M W e GONÇALVES, M B (1999) Uma avaliação do mérito de escolas de nível médio através da técnica de Preferência Declarada. *Ensaio - Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, Rio de Janeiro (a ser publicado).
- ALMEIDA, L M W e LOBO, D S (1999) Características relevantes das universidades determinadas através da técnica de Preferência Declarada. *Revista Terra e Cultura*, Londrina, Pr (a ser publicado).
- ARANTES, C O (1986) *Planejamento de rede escolar: questões teóricas e metodológicas*. Ministério da Educação, Centro de Desenvolvimento e Apoio Técnico à Educação, Brasília.
- ARRUDA, J B F (1997) *Determinação do impacto de projetos de transportes na acessibilidade do trabalhador às principais zonas de emprego urbano*. In *Transporte em Transformação II*, Co edição Makron Books e Confederação Nacional do Transporte pp 141-154.
- ARRUDA, F S; SANCHES, S P (1998) Integração dos modos não motorizados nos modelos de planejamento dos transportes. *Anais do XII ANPET*, Vol 3, pp 163-166.
- AUSTIN, C M (1974) The evaluation of urban public facility locations: an alternative to benefit-cost analysis. *Geographical Analysis*, Vol 6, pp 35-45.

- BASTOS, L C (1994) *Planejamento da rede escolar: uma abordagem utilizando preferência declarada*. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, SC.
- BASTOS¹, R C (1994) *Avaliação de desempenho de sistemas educacionais: uma abordagem usando conjunto difusos*. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, SC.
- BATTY, M (1976) *Urban modelling, algorithms, calibrations, predictions*. Cambridge, Cambridge University Press.
- BEAUMONT, J R (1980) Spatial Interaction models and the location-allocation problem. *Journal of Regional Science*, Vol 20, No 1, pp 37-51.
- BEAUMONT, J R (1987) *Location-Allocation Models and Central Place Theory*. In Spatial Analysis and Location-Allocation Models, edited by Ghosh and Rushton, Van Nostrand Reinhold Company, New York, pp 21-54.
- BEN-AKIVA, M e LERMAN, S (1985) *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*. The Mit Press, Cambridge, Massachusetts.
- BEN-AKIVA, M e LERMAN, S (1978) Disaggregate travel, mobility choice models and measures of accessibility. In: Hensher, D and Stopher, P R (eds) *Behavioral travel modelling*. Croom Helm, London.
- BRUINSMA, F; RIETVELD, P (1998) The accessibility of European cities: theoretical framework and comparison of approaches. *Environment and Planning A*, 30(3), pp 499-521.
- BRUTON, M J (1979) *Introdução ao planejamento dos transportes*. Rio de Janeiro, Editora Interciência, São Paulo, Ed. da USP.
- BURNS, L D (1979) *Transportation, temporal and spatial components of accessibility*. Lexington Books, Toronto, Canadá.
- CALDWELL, B J (1996) School Reform for the Knowledge Society: An Economic Perspective. *The Australian Economic Review*, 4th Quarter, pp 417-422.
- CASTRO, M H G (1998) Avaliação do sistema educacional brasileiro. *Ensaio - Avaliação de Políticas Públicas em Educação*, Vol 6, Nº 20, pp 303-364.
- CLARCK, W A V e RUSHTON, G (1970) Models of intraurban consumer behavior and their implications for central place theory. *Economic Geography*, Vol 46, pp 486-497.
- Comissão de Circulação e Urbanismo \ANTP (1989) Não transporte: A reconquista do espaço e do tempo social. *Revista dos Transportes Públicos*, Ano 11, Nº 44.
- COCHRANE, R A (1975) A possible Economic basis for the Gravity Model. *Journal of*

- Transportation Economic and Policy*, Vol 5(1), pp 34-49.
- CONSTANTINO, A A (1997) *Otimização de escala de trabalho para condutores de trem: seqüenciamento de tarefas e alocação baseada em preferência declarada*. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, SC.
- COOPER, L (1963) Location-Allocation Problems. *Operations Research*, Vol 11, pp 33-43.
- COOPER, L (1967) Solutions of generalized location equilibrium models. *Journal of Regional Science*, Vol 7, pp 1-18.
- DEAR, M J (1974) A Paradigm fo Public Facility Location Theory. *Antípode*, Vol 6, pp 46-50.
- DIAS COELHO, J (1989) *Localização óptima de equipamento escolar: uma aplicação ao 2º ciclo na região do Algarve 1992/1993* Seminário sobre carta escolar, Vilamoura, Portugal, pp 74-105.
- DIMITRIOU, H T (1990) Transport and third world development. In: Dimitiou H T and Banjo, G (eds), *Transport planning for third world cities*, London.
- DIPLOCK, G e OPENSHAW, S (1996) Using simple genetic algorithms to calibrate spatial interaction models. *Geographical Analysis*, 28(3), pp 262-279.
- DOMÁNSKY, R (1979) Accessibility, efficiency and spatial organization. *Environment and Planning A*, Vol 11, pp 1189-1206.
- EFRÓN, J A (1995) *Indústria hoteleira em balneário Camboriú: uma visão através de modelos de preferência declarada*. Dissertação Mestrado, UFSC, Florianópolis, SC.
- ESPIRITO SANTO, A e MARTINS, J P (1987) *Essências estatísticas aplicadas às Ciências Sociais*. Prefeitura Municipal de Londrina/Seplan, Londrina-Pr.
- EVANS, S P (1973) A relationship between the gravity model for trip distribution and the transportation problem in linear programming. *Transportation Research* Vol 7, pp 39-61.
- FELDERER, B (1975) Optimal allocation of resources to the educational sector in a system of regions. *Environment and Planning A*, Vol 7, pp 59-70.
- FELLER, W (1976) *Introdução à Teoria das Probabilidades e suas Aplicações*. São Paulo Edgard Blücher.
- FERLAND, J A e GUÉNETTE, G (1990) Decision support system for the school districting problem. *Operation Research*. Vol 38, No 1, pp 15-21.
- FERRAZ, J C F (1993) A engenharia nacional e o problema urbano. *Revista dos Transportes Públicos*, ANTP, 4º trimestre.
- FREITAS, A G F (1995) *Modelagem Comportamental dos Decisores Através de Técnicas de*

Preferência Declarada: Uma Aplicação no Setor Imobiliário de Florianópolis - SC.

Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, SC.

- GALLE, O R; TAEUBER, K E (1966) Metropolitan Migration and Intervening Opportunities *American Sociological Review*, Vol 31, No 1, pp 5-13.
- GALVÃO, R D (1981) Modelos e algoritmos para problemas de localização em redes. *Pesquisa Operacional*, Vol 1, No 1, pp 3-22.
- GANDIN, D (1997) *Planejamento como prática educativa*. Ed. Loyola, S.P. 9ª edição.
- GONÇALVES, M B e ULYSSÉIA NETO, I (1993) The Development of a New Gravity-opportunity model for trip distribution. *Environment and Planning A* Vol25, pp 817-826.
- GONÇALVES, M B (1992) *Desenvolvimento e teste de um novo modelo gravitacional de oportunidades*. Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, SC.
- GONÇALVES, M B (1996) Calibração de um modelo de distribuição de viagens: um problema de programação não linear. *Pesquisa Operacional*, Vol 16(2), pp 89-102.
- GONÇALVES, M B e DE CURSI, J E S (1997) Métodos robustos para a calibração de modelos de interação espacial em transportes. *Anais do XI ANPET*, Vol 2, pp 303-313.
- GOUVEIA, A J e HAVIGHURST, R J (1969) *Ensino médio e desenvolvimento*. Editora Melhoramentos, São Paulo.
- GUTIÉRREZ, J; MONZÓN, A; PIÑERO, J M (1998) Accessibility, network efficiency, and infrastructure planning. *Environment and Planning A*, 30(8), pp 1337-1350.
- HAGGET, P; CHORLEY, R J (1969) *Network analysis in geography*. Edward Arnold, London.
- HANSEN, W G (1959) How accessibility shapes land use. *Journal of American Institute of Planners*, Vol 25, N° 22, pp 73-76.
- HAY, A M (1995) Concepts of equity, fairness and justice in geographical studies. *Transactions of the Institute of British Geographers*, Vol 20, pp 500-508.
- HELENE, O (1994) Qual a saída para a crise escolar brasileira? *Universidade e Sociedade*, Ano IV, N° 7, pp 19-26.
- HODGART, R L (1978) Optimizing access to public services. *Progress in Human Geography*. Vol 2, pp 17-48.
- HODGE, D (1986) Social impacts of urban transportation decisions: equity issues. In: S Hanson (ed.) *Geography of urban transportation*. The Guildorf Press.
- INGRAM, D R (1971) The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies*, Vol 5, pp 101-107.

- JANELLE, D G (1969) Spatial reorganization: a model and concept. *Association of American Geographers*, N° 59, pp 348-364.
- JANUÁRIO, M H; CAMPOS, V B G (1996) Determinação de níveis de acessibilidade do transporte público. *Anais do VIII Congresso Latino-Americano de Transporte Público y Urbano*, Curitiba, Brasil.
- JORNAL GAZETA DO POVO (1998) Página da Educação, 26 de setembro, Curitiba-PR.
- KRALICH, S (1996) La accesibilidad radial metropolitana como indicador de calidad de vida. *Anais do VIII Congresso Latino Americano de Transporte Publico y Urbano*, Curitiba, Brasil.
- KROES, E P e SHELDON, R J (1988) Stated preference methods. *Journal of Transport Economics and Policy*, January, pp 11-20.
- KUENNE, R E e SOLAND, M, (1972) Exact and approximate solutions to the multisource Weber problem. *Math. Prog.* Vol 3 pp 193-209.
- LANKFORD, R H et al (1995) An analysis of elementary and secondary school choice. *Journal of Urban Economics*, Vol 38, pp 236-251.
- LARSON, R C e ODoni, A R, (1981) *Urban Operations Research*. Prentice-Hall.
- LAZLO, R (1983) *Systems Science and World Order*. Oxford: Pergamon.
- LEA, A C (1973) *Location-Allocation Systems: An Annotated Bibliography*. University of Toronto, Department of Geography, Discussion paper, No 13.
- LÉMEZ, R et al (1996) *Desafios da Educação no Século XXI: Integração Regional, Ciência e Tecnologia*. Associação Brasileira de Mantedoras de Ensino Superior, Brasília, DF.
- LEONARD, H J e DELANO, W B (1965) *A New Model for Distributing Short and long Distance Travel*. USA, ASCE Transportation Engineering Conference, Mineapolis.
- LEONARDI, G (1981) A general accessibility and congestion - sensitive multiactivity spatial interaction model. *Papers of the Regional Science Association*, Vol 47, pp 3-17.
- LEVIN, J (1987) *Estatística aplicada às Ciências Humanas*. 2ª edição, Tradução e adaptação de Sérgio Francisco Costa, Edit. Harbra Ltda, São Paulo, SP.
- LIMA, M L P (1993) *Utilização de modelos gravitacionais entrópicos de distribuição de viagens, como uma generalização do problema de transportes da programação linear*. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis, SC.
- LINDEMANN, F et al (1998) Método de avaliação da acessibilidade viária e sua relação com o uso do solo. *Anais do XII ANPET*, Vol 1, pp 457-468.

- LOUVIERE, J J (1988) Conjoint analysis modeling of stated preference- a review of theory, methods, recent developments and the external validity. *Journal of Transportation Economics an Policy*, January, pp 93-119.
- LOWE, J M , e SEN, A (1996) Gravity model application in health planning: analysis of an urban hospital market. *Journal of Regional Science*, Vol 36, No 3, pp 437-461.
- MACKIEWICZ, A e RATAJCZACK, W (1996) Towards a new definition of Topological Accessibility. *Transportation Research B*, Vol 30, No 1, pp 47-49.
- MARTINEZ, M J e LAHORE, C E O (1977) *Planejamento Escolar*. Saraiva SA, São Paulo, pp 205.
- MASSAM, B (1974) Political Geography and the Provision of Public Services. *Progress in Geography*, No 6, pp 179-210.
- MAYHEW, L D e LEONARDI, G (1982) Equity, efficiency and accessibility in urban and regional health-care systems. *Environment and Planning A*, Vol 14, pp 1479-1507.
- MEZOMO, J C (1997) *Educação e qualidade total*. Ed. Vozes Ltda, Petrópolis, R.J.
- McELIECE, R J (1977) *The Theory of Information and Coding*. Encyclopedia of Mathematics and its Applications, Vol 3, Massachussetts, Addison-Wesley Publishing Company.
- MORRIS, J M; DUMBLE, P L; WIGAN, M R (1979) Accessibility indicators for transport planning. *Transportation Research A*, Vol 13 A, pp 91-109.
- MULLIGAN, F G (1991) Equality measures and facility location. *Papers in Regional Science*, Vol 70 (4), pp 345-365.
- MURANY, T C; MILLER, J D (1966) *New Applications of the Opportunity Model of Traffic Planning and Design*. Chicago Area Transportation Study.
- NOVAES, A G (1981) *Modelos em Planejamento Urbano, Regional e de Transportes* Ed. Edgar Blüche, São Paulo.
- NOVAES, A G (1995) Análise de mercado de serviços de transportes com dados de preferência declarada. *Anais do IX ANPET*, Vol 2, pp 573-584.
- NOVAES, A G; CARVALHO, M C M (1994) Market share modelling of intercity bus travel in Brazil. *Seventh International Conference on Travel Behavior*, Chile, Vol 2, pp 577-588.
- NOVAES, A G et al (1996) Aferição do nível logístico - portuário por meio de técnicas de preferência declarada. *Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Vol 2, pp 567-576.

- NOVAES, A G; ROSSETO, C F (1993) Localização de Depósitos Numa Rede Logística com o Auxílio de Gis. *Anais do VII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, São Paulo, Vol 1, pp 605-617.
- O'KELLY, M E (1987) Spatial interaction based location - allocation models. In: *Spatial Analysis and Location Allocation Models*, edited by Ghosh and Rushton, Van Nostrand Reinhold Company, New York, pp 302-324.
- OLIVEIRA, A D (1997) *Gestão democrática da educação: desafios contemporâneos*. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro.
- OPENSHAW, S; OPENSHAW, C (1997) *Artificial intelligence in geography*. John Wiley & Sons, Chichester.
- ORTÚZAR, J D (1994) Valor del tiempo en evaluation de proyectos: el dilema chileno. *Seventh international conference on travel behavior*, Vol II, Chile, pp 903-916.
- ORTÚZAR, J D (1988) *Modelos de demanda de transporte*. Pontificia Universidad Católica do Chile, Departamento de Ingeniería de Transporte.
- PIZZOLATTO, N D; SILVA, H B F (1993) Proposta metodológica de localização de escolas: Estudo do caso de Nova Iguaçu. *Pesquisa Operacional*, Vol 14, No 2, pp 1-15.
- PIZZOLATTO, N D; SILVA, G G (1996) Avaliação gerencial da localização da rede de ensino público de Niterói R.J. *Ensaio: Avaliação de Políticas Públicas em Educação*, Rio de Janeiro, Vol 4, No 11, pp 129-142.
- POOLER, J A (1995) The use of spatial separation in the measurement of transportation accessibility. *Transportation Research A*, Vol 29 A, No 6, pp 421-437.
- POPPER, R J; HOEL, L A (1976) Mobility evaluation of urban public transportation. *Transportation planning and Technology*. Vol 3.
- PORTES, A (1990) *Planejamento de ensino: uma contribuição ao ensino de Análise de Balanços*. Dissertação de Mestrado, PUC, São Paulo.
- PROEM (1997) Proposta de reestruturação do ensino médio no Núcleo Regional de Educação de Londrina. *Núcleo Regional de Londrina*, Londrina, Paraná.
- PYERS, C E (1965) Evaluation of the intervening opportunities trip distribution model. *Trabalho apresentado no 44th Anual Meeting of the Highway Research Board*, Washington.
- RODRIGUES, M ; DANTAS, J R (1983) Modelos urbanos: da concepção à utilização. *Modelos urbanos, regionais e de transportes*, São Paulo, IPT.

- ROY, J R (1993) Comment on the "The development of a new gravity-opportunity model for trip distribution". *Environment and Planning A*, Vol25, pp 1689-1691.
- RUSHTON, G et al (1981) Equilibrium locations for public services: individual preferences and social choice. *Geographical Analysis*, Vol 13, No 3, pp***
- RUSHTON, G (1987) Selecting the objective function in location- allocation analysis. In: *Spatial Analysis and Location Allocation Models*, Ghosh and Rushton (eds.) Van Nostrand Reinhold Company, New York
- SALES FILHO, L H (1997) Indicadores de acessibilidade: alguns aprimoramentos analíticos e seu uso na avaliação de redes estruturais de transporte urbano. *Anais do XI ANPET*, pp 985-987.
- SAMPAIO, M G; PARENTE, L I; WOHLAND, M (1987) Uma experiência de descentralização em administração pública. *Cadernos da Fundap*, 7 (13), pp 23-26.
- SANCHES, S P (1996) Acessibilidade: Um Indicador do Desempenho dos Sistemas de Transporte nas Cidades. *Anais do X Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Vol 2, pp 199-208.
- SANT'ANNA, F M et al (1992) *Planejamento de ensino e avaliação*. Sagra Editora e Distribuidora LTDA, Porto Alegre, pp 303.
- SCHIMITZ, R ;NOVAES, A G , SOUZA, J C (1998) Pedágios em rodovias: valor inicial das tarifas. *Anais do XII ANPET*, Vol 1, pp 655-666.
- SCOTT, A J (1970) Location-Allocation systems: a review. *Geographical Analysis*, Vol 2, pp 95-119.
- SEN, A (1985) Research suggestions on spatial interaction models. *Transportation Research A*, Vol. 19 A, pp 432-435.
- SHENK, A (1984) *Cálculo e Geometria Analítica*. Tradução de Anna Amália F. Barroso, Vol 2, 3ª edição, Editora Campus, Rio de Janeiro, Brasil.
- SMITH, D P e HUTCHINSON, B G (1981) Goodness of Fit Statistics for Trip Distribution Models. *Transportation Research*, Vol 15 A, pp 295-303.
- SENNA, L A D S (1992) Travellers willingness to pay for reduction in travel time variability. *VI World Conference on Transportation Research*, Lion, França.
- SOOT, S ; SEN, A (1991) A spatial employment and economic development model. *Papers in Regional Science*, Vol 70, No 2, pp 149-166.
- SOUZA, A M (1993) Crise de descentralização Educacional no Brasil: resistências, inovações

- e perspectivas. *Planejamento e Políticas Públicas*, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, No 10, pp 1-31.
- STEWART, J Q; WARNTZ, W (1958) Physics of population distribution. *Journal of Regional Science*, Vol 1, pp 99-123.
- STOUFFER, S A (1940) Intervening opportunities: a theory relating mobility and distance. *American Sociological Review*, Vol 5, No 6, pp 845-867.
- STOUFFER, S A (1960) Intervening opportunities and competing migrants. *Journal of Regional Science*, Vol 2, N° 1.
- STRAMBI, O (1991) *Critérios de eficiência e equidade para a análise de estruturas tarifárias do Transporte Público Urbano*. Tese de Doutorado, USP, São Paulo.
- TAGORE, M R; SIKDAR, P K (1995) A new accessibility measure accounting mobility parameters. *Anais do 7º WCTR*, Sidney, Austrália, Vol 1, pp 305-315.
- TAKET, A R (1989) Equity and access: exploring the effects of hospital location on the population served: a case study in strategic planning. *Operational Research*, Vol 40, pp 1001-1010.
- TALEN, E; ANSELIN, L (1998) Assessing spatial equity: an evaluation of measures of accessibility to public playgrounds. *Environment and Planning A*, 30(4), pp595-613.
- TAVARES, V L (1991) *Desenvolvimento dos Sistemas Educativos: modelos e perspectivas*. Gabinete de Estudos e Planeamento, Ministério da Educação, Lisboa, Portugal.
- TEWARI, V K; JENA, S (1987) High school location decision making in rural India and location-allocation models. In *Spatial Analysis and Location-Allocation Models*, edited by Ghosh and Rushton, Van Nostrand Reinhold Company, New York, pp 137- 161.
- THOMAS, R W (1977) An interpretation of the journey to work on Merseyside using entropy-maximizing methods. *Environment and Planning A*, Vol 9, pp 817-834.
- TOREGAS, C; SWAIN, R ; REVELLE, C; BERGMAN, L (1971) The location of emergency service facilities. *Operations Research*, Vol 19, No 5 pp 1363 - 1373.
- ULYSSÉA NETO, I (1988) *The development and testing of a non-recursive aggregate passenger travel demand modelling approach*. Tese de Doutorado, Universidade de Bristol, Inglaterra.
- ULYSSÉA NETO, I (1991) Desenvolvimento de modelos de distribuição de viagens através do método da maximização da entropia. *V Encontro Nacional da ANPET*, Belo Horizonte, MG.

- WEIBULL, J W (1980) On the numerical measurement of accessibility. *Environment and Planning A*, Vol 12, pp 53-67.
- WILLIAMS, H C W L; SENIOR, M L (1978) Accessibility, spatial interaction and the evaluation of land use - transport plans. In: Karlovist, A et al (eds) *Spatial Interaction theory and Planning Models*. North Holland, Amsterdam.
- WILLS, M J (1986) A flexible gravity-opportunities model for trip distribution. *Transportation Research*, Vol 20 B, No 2, pp 89-111.
- WILSON, A G (1967) A statistical theory of spatial distribution models. *Transportation Research*, Vol 1, pp 253-269.
- WILSON, A G (1970) *Entropy in urban and regional modeling*. London, Pion.
- WILSON, S R (1976) Statistical notes on the evaluation of calibrated gravity models. *Transportation Research*, Vol 10, pp 343-345.

ANEXO 1 - Conjunto de atributos apresentados aos estudantes

A questão apresentada aos estudantes consiste em:

Assinale com X os itens que você acha mais importantes na escolha da escola para cursar o segundo grau:

- Distância entre a escola e a residência do estudante.
- Linhas de ônibus disponíveis entre a escola e a residência do estudante.
- A escola localiza-se no caminho de trabalho do pai, do responsável ou do próprio estudante, se for o caso.
- Horário das aulas.
- Tradição da escola: a escola é considerada “melhor” que as demais segundo a opinião pública.
- Cursos oferecidos pela escola.
- A existência de laboratórios de Físico-Química e de Informática na escola.
- A existência de quadras de esporte na escola.
- A existência de biblioteca na escola.
- Tamanho da escola.
- Segurança da escola (muros, portões, vigias).
- A qualificação do professores da escola.
- A realização ou a participação da escola em eventos culturais e esportivos.
- Acrescente outros, se achar conveniente.

ANEXO 2

ESCOLA:

ZONA

--	--

ESCREVA NO QUADRADO ABAIXO O NÚMERO CORRESPONDENTE AO CONJUNTO DE BAIRROS NO QUAL CONSTA O BAIRRO ONDE VOCÊ MORA. (Se o bairro onde você mora não consta na lista, coloque o número do conjunto que contém o bairro mais próximo de sua residência).

01 - Cinco Conjuntos, Conj. Luiz de Sá, Conj. Vivi Xavier, Conj. Aquiles Guimarães, Conj. Milton Gavetti, Conj. Parigot de Souza, Jardim Ouro Verde, Jardim Paraíso.

02 - Jardim Santa Rita, Jardim Santa Rita II, Jardim Maria Lúcia, Sabará, Jardim Silvino.

03 - Jardim Bandeirantes, Conj. Hab. Orion, Conj. Lauro da Veiga, Jardim Messiânico, Jardim San Remo, Jardim Tóquio, Jardim Hedy, Jardim Universitário, Jardim Colúmbia.

04 - Vila Nova, Jardim Leonor, Jardim Santiago, Shangrilá B, Vila Zanetti, Bom Retiro, Vila Independência, Vila Recreio, Vila Casoni, Jardim Matarazzo.

05 - Centro, Shangrilá A, Jardim do Sol, Campo Belo, Jardim Alvorada, Jardim Bancários, Jardim Country Clube, Vila Siam, Vila Canziane.

06 - Shopping Catuaí, Jardim Itamaraty, Jardim Presidente, Jardim Coimbra, Quebec, Parque Guanabara, Jardim Santa Rosa, Jardim Cláudia, Bela Suíça.

07 - Jardim Igapó, Jardim Flórida, Vila Higienópolis, Jardim Europa, Vila Brasil, Jardim Londrilar, Jardim Ipanema

08 - Bairro Aeroporto, Cervejaria, Conjunto Antares, Monte Rey, Interlagos, Santa Terezinha, Jardim Marabá, Jardim Ideal, Jardim Castelo, Parque Waldemar Hauer.

09 - Conjunto Lindóia, Conjunto Eucaliptos, Parque das Indústrias, Vila Yara, Conj. Mister Thomas, Novo Amparo.

10 - Vila Operária, Jardim Guararapes, Conj. Hab. do Café, Jardim Pérola, Jardim Vitória Régia, Jardim Monte Carlo, Jardim Vale Verde.

11 - Jardim Pizza, Jardim Acapulco, Jardim Monte Belo, Proximidades da UNOPAR, Jardim Roseira, Jardim São Lourenço, Vale dos Tucanos, Jardim Mediterrâneo, Jardim Itatiaia I e II, Vale do Reno.

12 - Parque Ouro Branco, Três Marcos, Jardim Cafezal I, II e III.



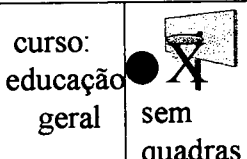
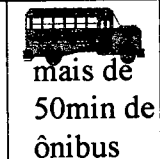

--	--



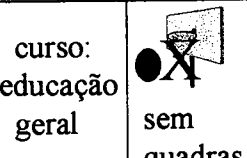
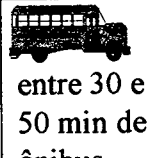

ANEXO 3 - Cartões utilizados nas entrevistas de preferência declarada



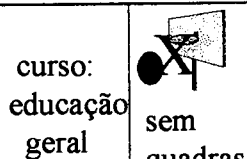
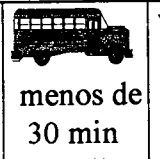

Este anexo contém dois dos seis grupos de cartões usados nas entrevistas de preferência declarada.


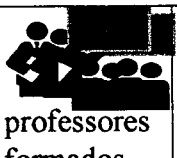
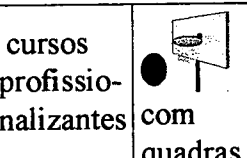
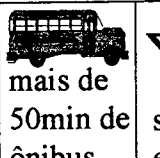

Convém ressaltar que, aqui os cartões são ajustados ao tamanho do papel e a impressão é feita em preto e branco. Na aplicação prática estas cartões foram apresentados em tamanho maior e coloridos.



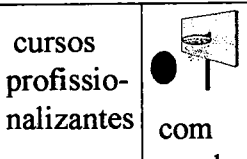
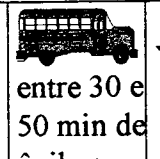

GRUPO 1



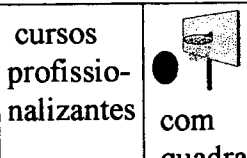
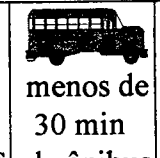

 com laboratórios	 professores formados	curso: educação geral	 sem quadras	 mais de 50min de ônibus	 com eventos
--	--	-----------------------------	---	---	---

 com laboratórios	 professores formados	curso: educação geral	 sem quadras	 entre 30 e 50 min de ônibus	 sem eventos
--	--	-----------------------------	---	---	---






 com laboratórios	 professores não formados	curso: educação geral	 sem quadras	 menos de 30 min de ônibus	 com eventos
--	--	-----------------------------	---	---	---

 sem laboratórios	 professores formados	curso: profissio- nalizantes	 com quadras	 mais de 50min de ônibus	 sem eventos
--	--	------------------------------------	---	---	---






 sem laboratórios	 professores não formados	curso: profissio- nalizantes	 com quadras	 entre 30 e 50 min de ônibus	 sem eventos
--	--	------------------------------------	---	---	---

 sem laboratórios	 professores não formados	curso: profissio- nalizantes	 com quadras	 menos de 30 min de ônibus	 com eventos
--	--	------------------------------------	---	---	---






GRUPO 4

 sem laboratórios	 professores não formados	cursos profissionalizantes	 com quadras	 mais de 50min de ônibus	 com eventos
---	---	----------------------------	--	---	--






19

 sem laboratórios	 professores formados	curso: educação geral	 sem quadras	 menos de 30min de ônibus	 com eventos
---	---	-----------------------	--	--	--



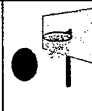


20

 com laboratórios	 professores não formados	cursos profissionalizantes	 sem quadras	 entre 30 e 50 min de ônibus	 sem eventos
---	---	----------------------------	--	---	--






21

 com laboratórios	 professores formados	curso: educação geral	 sem quadras	 menos de 30 min de ônibus	 sem eventos
---	---	-----------------------	--	---	--

22

 com laboratórios	 professores não formados	curso: educação geral	 com quadras	 mais de 50min de ônibus	 com eventos
---	---	-----------------------	--	---	--

23

 sem laboratórios	 professores formados	cursos profissionalizantes	 com quadras	 entre 30 e 50 min de ônibus	 sem eventos
---	---	----------------------------	--	---	--

24

ANEXO 4 - Matriz de utilidades

Matriz de utilidades $[U_{il}]$ onde $i = 1, 2, \dots, 12$ representam as zonas de tráfego e $l = 1, 2, \dots, 29$ são as escolas.

Cada elemento (U_{il}) representa:

(U_{il}) = utilidade da escola l para os estudantes da zona i

Observação: O número colocado na segunda linha da tabela refere-se à zona a qual pertence a escola da respectiva coluna.

Escola/ zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	1	9	3	1	10	4	5	5	5	5	5	7	6	7	9	4	3	12	7	8	1	11	2	5	4	2	1	9	8
1	3.35	2.74	2.37	3.79	3.14	3.24	4.69	2.57	2.47	5.46	5.46	4.47	2.75	3.24	3.02	3.24	4.09	2.75	4.09	2.75	2.97	2.47	3.60	3.35	3.60	2.75	3.07	2.65	2.75
2	2.75	2.74	2.65	3.19	3.14	3.24	4.61	2.57	2.47	5.46	5.46	4.47	2.75	3.24	3.02	3.24	4.37	2.75	4.09	2.75	2.37	2.47	4.20	3.35	3.60	3.26	2.47	2.65	2.75
3	2.75	2.47	2.97	3.19	3.14	3.52	4.69	2.57	2.47	5.46	5.46	4.47	3.35	3.24	2.75	3.52	4.69	2.75	4.09	2.75	2.37	2.47	3.88	3.35	3.88	2.93	2.47	2.37	2.75
4	2.75	2.47	2.65	3.19	3.42	3.84	4.69	2.57	2.47	5.46	5.46	4.75	3.02	3.52	2.75	3.84	4.37	2.75	4.37	2.75	2.37	2.47	3.60	3.35	4.20	2.75	2.47	2.37	2.75
5	3.35	3.07	2.97	3.79	3.74	3.84	4.69	2.57	2.47	5.46	5.46	5.07	3.35	3.84	3.35	3.84	4.69	3.35	4.69	3.35	2.69	3.07	4.20	3.35	4.20	3.26	3.07	2.97	3.35
6	2.75	2.47	2.97	3.19	3.14	3.52	4.69	2.57	2.47	5.46	5.46	4.75	3.35	3.52	2.75	3.52	4.69	2.75	4.37	2.75	2.37	2.47	3.60	3.35	3.88	2.75	2.47	2.37	2.75
7	2.75	2.47	2.37	3.19	3.42	3.52	4.69	2.57	2.47	5.46	5.46	5.07	3.08	3.84	2.75	3.52	4.09	2.75	4.69	2.75	2.37	2.74	3.60	3.35	3.88	2.75	2.47	2.37	2.75
8	2.75	2.47	2.37	3.19	3.74	3.24	4.69	2.57	2.47	5.46	5.46	4.47	2.75	3.24	2.75	3.24	4.09	2.75	4.09	3.35	2.37	2.47	3.60	3.35	3.60	2.75	2.47	2.37	3.35
9	3.02	3.07	2.37	3.46	3.42	3.24	4.69	2.57	2.47	5.46	5.46	4.47	2.75	3.24	3.35	3.24	4.09	2.75	4.09	2.75	2.65	2.47	3.88	3.35	3.60	2.93	2.74	2.97	2.75
10	2.75	2.74	2.37	3.19	3.74	3.52	4.69	2.57	2.47	5.46	5.46	4.47	2.75	3.52	3.02	3.52	4.09	3.02	4.37	3.35	2.37	2.74	3.60	3.35	3.88	2.75	2.47	2.65	3.35
11	2.75	2.47	2.37	3.19	3.42	3.24	4.69	2.57	2.47	5.46	5.46	4.47	2.75	3.52	2.75	3.24	4.09	3.35	4.37	2.75	2.37	3.07	3.60	3.35	3.60	2.75	2.47	2.37	2.75
12	2.75	2.47	2.37	3.19	3.42	3.24	4.69	2.57	2.47	5.46	5.46	4.47	2.75	3.24	2.75	3.24	4.09	3.35	4.09	2.75	2.37	3.07	3.60	3.35	3.60	2.75	2.47	2.37	2.75