

Antônio Peixoto de Melo

SIG como suporte à decisão no
planejamento do transporte coletivo:
Estudo de caso da Região Barreiro em
Belo Horizonte/MG

IX Curso de Especialização em
Geoprocessamento



UFMG
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha
Belo Horizonte
cartografia@igc.ufmg.br

ANTÔNIO PEIXOTO DE MELO

**SIG COMO SUPORTE À DECISÃO NO PLANEJAMENTO DO
TRANSPORTE COLETIVO: ESTUDO DE CASO DA REGIÃO
BARREIRO EM BELO HORIZONTE /MG**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geoprocessamento, Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de especialista em Geoprocessamento.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Clara Mourão Moura

Co-Orientador: Prof^o Christian Rezende Freitas

Belo Horizonte
2006

MELO, Antônio Peixoto

SIG como Suporte à Decisão no Planejamento do Transporte Coletivo: Estudo de Caso da Região do Barreiro em Belo Horizonte/MG/ Antônio Peixoto de Melo. Belo Horizonte 2006
vii, 54 f.: il.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. Departamento de Cartografia, 2006.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ana Clara Mourão Moura

Co-Orientador: Prof^º Christian Rezende Freitas

1. Geoprocessamento. 2. Aplicativos de Rede.
3. Planejamento Transporte. I. Título

AGRADECIMENTOS

À Equipe da Gerência de Estudos e Programação de Transportes (GESPR), especialmente à gerente da área, Eloísa Lima Borges, principal responsável pela minha entrada na temática do Geoprocessamento.

Aos meus familiares, especialmente meu irmão Marcelino, que, durante nossas caminhadas de domingo pela Lagoa da Pampulha, me incentivou e motivou a fazer o curso.

Ao Prof^o Christian Rezende Freitas, professor extremamente dedicado ao estudo e ao trabalho, que não mede esforços para atender aos seus orientados, prontificando-se, incansavelmente, a se reunir tantas vezes quanto necessárias para discussões do trabalho.

À Prof^a Ana Clara M. Moura, pela disponibilidade em nos ajudar no decorrer do curso.

Aos estagiários de Geografia, Rafael e Wanderson, pelo apoio na construção dos mapas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	08
2. OBJETIVO	11
2.1 Geral	11
2.2 Específico	11
3. ESTUDO DE REDE	
3.1 Nós e Arcos	12
3.2 Grafos	12
3.3 Redes	14
3.4 Impedâncias	14
3.5 Caminhos Ótimos	15
4. ÁREA DE ESTUDO	16
4.1 Descrição da Região	16
4.1.1 Distribuição da População	18
4.1.2 Concentração das Atividades Econômicas	20
4.1.3 Unidades de Saúde na Região	21
4.1.4 Entidades de Ensino na Região	22
4.1.5 Sistema Viário	23
4.2 Sistema de Transporte de Belo Horizonte	24
4.3 Sistema de Integração em Estações	25
4.4 Oferta de Transporte na Região do Barreiro	28
4.5 Demanda da Região do Barreiro	30
4.6 Geração de Viagens – Atração e Geração	31
5. CONSTRUÇÃO DO SIG	35
5.1 Definição da Área do Projeto	35
5.2 Construção do Banco de Dados	36
5.3 Organização dos Dados	37
5.4 Método de Avaliação	38
5.5 Simulação de Caminhos Ótimos	41
5.6 Cálculo da Distância-Tempo	43

6. RESULTADOS	45
7. CONCLUSÃO	55
8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	57
9. ANEXOS	58
9.1 Lista das Áreas Homogêneas da Região de Estudo	58
9.2 Volume de Tráfego (pico manhã e tarde)	59
9.3 Matriz Origem e Destino (pico manhã)	60
9.4 Matriz Origem e Destino (pico tarde)	61

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1 – Equipamentos de Saúde Municipal	21
Tabela 2 – Relação de linhas da Região	28
Tabela 3 – Notas Tipos de Pavimentação	40
Tabela 4 – Notas na Classificação das vias	40
Tabela 5 – Notas de U.V.P.	40
Gráfico 1 – Número de Passageiros Pagantes/dia	30
Gráfico 2 – Número Viagens/dia	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Grafos	13
Figura 2 – Divisão das Regionais PBH	16
Figura 3 – População Residente	18
Figura 4 – Divisão Modal das Viagens	19
Figura 5 – Concentração das Atividades Econômicas	20
Figura 6 – Equipamentos da Área de Saúde	21
Figura 7 – Instituições de Ensino na Região	22
Figura 8 – Principais Vias da Região	23
Figura 9 – Identificação dos Ônibus – Sistema PROBUS	24
Figura 10 – Identificação dos Ônibus – BHBUS	25
Figura 11 – Estação de Integração – BHBUS Barreiro	27

Figura 12 – Estação de Integração – BHBUS Diamante	27
Figura 13 – Cobertura Espacial da Rede de Transporte da Região	29
Figura 14 – Região de Atração de Viagens (Pico Manhã)	33
Figura 15 – Região de Geração de Viagens (Pico Manhã)	33
Figura 16 – Região de Atração de Viagens (Pico Tarde)	34
Figura 17 – Região de Geração de Viagens (Pico Tarde)	34
Figura 18 – Delimitação da Área do Projeto	35
Figura 19 – Formulário para cálculo de Impedâncias	38
Figura 20 – Apresentação do 1º Passo para Simulação de Rotas	42
Figura 21 – Apresentação do 2º Passo para Simulação de Rotas	42
Figura 22 – Exemplo de Simulação de rota	43
Figura 23 – Geração de Viagem (pico manhã)	46
Figura 24 – Atração de Viagem (pico tarde)	46
Figura 25 – Atendimento das Áreas Homogêneas	47
Figura 26 – Geração de Viagem AH 1211 para 1218 (pico manhã).....	49
Figura 27 – Atração de Viagem da AH 1211 atrai de 1218(pico tarde).....	49
Figura 28 – Geração de Viagem AH 1211 para 1229 (pico manhã).....	51
Figura 29 – Atração de Viagem da AH 1211 atrai de 1229(pico tarde).....	51
Figura 30 – Geração de Viagem AH 1211 para 1203 (pico manhã).....	53
Figura 31 – Atração de Viagem da AH 1211 atrai de 1203 (pico tarde).....	53

RESUMO

O presente trabalho tem como proposta conhecer os desejos de deslocamento dos usuários do transporte coletivo da Região do Barreiro em Belo Horizonte/MG, identificando também os principais pólos geradores de viagem da região. E, com o auxílio das ferramentas disponíveis no programa SPRING 4.3, desenvolver estudos para aplicativos de rede que permitam estabelecer rotas de caminhos ótimos. Para atingir tal propósito foram aplicados fatores de aspectos logísticos tais como, classificação da via, limites de velocidade, e também fatores naturais do tipo pavimentação da via, estes funcionarão como inibidores do fluxo, sendo incluídos no cálculo de impedância da rede. Os resultados mostram que o tempo despendido numa viagem utilizando a rota traçada pela ferramenta de custo mínimo, é inferior ao tempo do atual sistema de transporte.

1. INTRODUÇÃO

Um Sistema de Transporte Urbano é um conglomerado de subsistemas de vários níveis hierárquicos, cabendo destaque a três deles: o Sistema Viário, o Sistema de Circulação e o Sistema de Transporte Público de Passageiros. Este último compreende a estrutura do transporte coletivo urbano em seus vários modos, expressos pelos tipos de serviços e linhas, com as respectivas características operacionais, os níveis tarifários, as conexões intermodais, o relacionamento com o usuário, além dos equipamentos e sistemas de serviços necessários à operação.

O Sistema de Transporte Coletivo pode ser considerado um dos principais vetores de circulação dentro do espaço urbano, de fundamental importância para o desenvolvimento econômico e social da cidade, pois é o responsável pela interligação da população do local de residência aos locais de trabalho e de lazer.

Como aponta Gadret (1969), moradia, local de trabalho, sítio de recreio são lugares estáticos e estáveis. A circulação é o movimento. O que torna a cidade diferente de sua fotografia é o toque anímico, sem o qual ela não funciona, não trabalha, não diverte. Em resumo, não tem vida.

O transporte coletivo exerce, também, o papel de fixador do homem no espaço urbano, podendo influenciar na localização das pessoas, dos serviços, das edificações, da rede de infra-estruturas e atividades urbanas. Ferraz (1997) afirma que o transporte determina a localização das atividades e as condiciona tanto para um ordenamento racional quanto para um ordenamento irracional.

A localização das funções urbanas - *função trabalho* e *função moradia* - dentro da cidade pode determinar as características da *função circulação*. Considerando-se que a produção do espaço urbano constrói uma relação dialética quanto ao transporte e à localização das estruturas, é importante haver um planejamento racional. O transporte e as pessoas, em suas dinâmicas e características, podem influenciar o local, assim como o local pode estruturar o transporte.

Nos dias atuais, o transporte coletivo e suas implicações vêm ocupando grande importância na vida do homem. O custo da locomoção urbana, bem como o tempo gasto para efetivá-la, representa uma preocupação a mais ao usuário do Sistema Público de Transportes.

O funcionamento da cidade em todos os setores será tanto melhor quanto mais houver oportunidades de deslocamento disponíveis para seus habitantes, o que depende da eficiência geral do Sistema de Transporte. Assim, o transporte coletivo deve constituir a espinha dorsal desse sistema, e o uso das vias públicas e do transporte individual deve ser submetido a uma nova disciplina e a novos critérios de equidade.

No Brasil, a importância do transporte coletivo é fundamental no cotidiano da população, uma vez que representa, na maioria dos casos, o único meio de deslocamento entre residência e trabalho e/ou escola. E entre os tipos de transporte coletivo existente o meio mais utilizado é o ônibus, tanto por ser de maior acessibilidade quanto por atender com mais amplitude aos desejos de destino da população.

O sistema de transporte coletivo deve oferecer qualidade no que se refere ao deslocamento dos usuários e fortalecer a consciência da cidadania, por intermédio da democratização dos acessos às oportunidades que a cidade oferece. Deve ainda ser instrumento a serviço da organização do espaço urbano, como indutor do seu processo de ocupação.

O planejamento e a operação do sistema de transportes são processos extremamente dinâmicos, exigindo constantes reformulações em partes ou no todo. Para acompanhar tais modificações torna-se fundamental que o órgão gestor disponha de um instrumental que possibilite o cadastramento e a atualização da base de dados com a rapidez.

A dinâmica do crescimento e da urbanização da cidade exige agilidade do órgão gestor para promover ajustes da oferta de serviços à demanda por transporte. Acreditamos assim que a aplicação e a funcionalidade do SIG podem auxiliar na tomada de decisão com rapidez e maior grau de acerto.

Os sistemas de informação geográficos (SIG) enquanto ferramentas com capacidade avançada em termos de gestão de informação geográfica, constituem atualmente um importante elemento de análise de transportes, quer nas suas componentes de infraestruturas e equipamento de apoio, quer em análise de redes e fluxos.

Citamos como aplicação do geoprocessamento em transporte, representação da malha viária do município, produção de mapas contendo os itinerários das linhas de ônibus, possibilitando a análise do grau de cobertura de uma região, produção de mapas contendo os pontos de embarque e desembarque (PED's) de uma linha de ônibus, produção de mapas de linhas de desejo, que permitam entender as trocas (deslocamentos) de uma determinada região, definição de melhor caminho para uma linha de ônibus.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como propósito identificar o padrão de deslocamento da população da Região do Barreiro e, com auxílio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), que possa armazenar, manipular e analisar dados relativos ao Sistema de Transporte de Belo Horizonte, buscar proposição de rotas que atendam aos desejos e às necessidades de deslocamento dos usuários, com redução no tempo de viagem.

2.1 Objetivo Geral

O objetivo é montar um SIG com a finalidade de auxiliar a tomada de decisão no planejamento do transporte coletivo, estabelecendo a metodologia a ser empregada nas diversas regiões de Belo Horizonte.

2.2 Objetivo Específico

- Caracterizar a região do Barreiro;
- Descrever as características do transporte coletivo da região do Barreiro;
- Identificar os locais de maior geração de fluxo de transporte;
- Identificar os locais de maior atração do fluxo de transporte;
- Construir um SIG para suporte à decisão no planejamento do transporte coletivo;
- Apresentar as propostas de rotas de transporte para o deslocamento interno da região do Barreiro, a partir das linhas de desejo.

3. ESTUDOS DE REDE

Os aplicativos de rede podem ser definidos como ferramentas de tratamento e simulação de dados espaciais que ocorrem dentro de um determinado sistema de fluxos.

A análise de dados espacialmente distribuídos apresenta várias aplicações quando podem ser identificadas redes para apoio e definição de problemas. As redes são entidades formadas por pontos (nós ou vértices) e linhas (arcos ou arestas) que descrevem de maneira natural vias públicas, conexões de água, telefonia e outros. As redes para modelos urbanos descrevem em geral ruas, avenidas e suas interseções (cruzamentos).

No sentido de melhor entender os aplicativos de rede, alguns elementos e processos serão descritos a seguir.

3.1 Nós e Arcos

Uma rede qualquer R é uma estrutura formada por um conjunto $N = (n_1, n_2, n_3, \dots)$ de nós e um conjunto $A = \{(i,j), (k,l), \dots, (s,t)\}$ de arcos, onde cada arco (i,j) conecta a um nó pertencentes a N . Um nó de rede é um elemento N , ao qual se conecta 1 (um) ou mais arcos. Um arco é definido como um elemento de ligação entre dois nós. Ele parte de um nó e chega a outro, ou seja, está sempre conectado a exatamente dois nós. Caso a direção de arco seja relevante para a análise da rede, considera-se que a direção é definida do nó inicial para o final, sendo caracterizado como arco unidirecional. Caso o contrário, o arco pode ser bidirecional ou não direcional (Davis, 1997).

É possível ter redes em que a localização física dos nós e arcos não é determinada. No caso das aplicações geográficas, no entanto, esses nós e arcos estão tipicamente associados a elementos do mundo real que são localizáveis geograficamente, como tubos e conexões em uma rede de água, ou como cruzamentos e logradouros em uma rede viária.

3.2 Grafos

A representação e a análise de redes de transportes baseiam-se em alguns princípios da teoria de grafos. Grafos são conjuntos de pontos que estão conectados, de forma direta ou não, com outros pontos por intermédio de linhas (Hagget e Chorley, 1969).

3.3 Redes

Redes são grafos com uma diferença fundamental: aos nós ou arcos podem se associar custos e pesos, viabilizando uma série de aplicações de suma importância, como roteamento, e diversas classes de problemas de otimização em transportes.

Formalmente, a diferença entre uma rede e um grafo se faz pelo fato de que os arcos da rede estão associados com impedâncias, enquanto os arcos do grafo não, pois estes apenas representam conexões e/ou direções.

A teoria dos grafos baseia-se nas características topológicas (na conectividade) dos membros de um conjunto. Os nós (vértices) representam os membros do conjunto, os arcos (linhas) as suas conexões. Assim, uma rede topologicamente correta exige que todos os nós estejam conectados entre si por, pelo menos, uma ligação, ou seja, dá-se a designação de uma rede conectada quando para todos os nós existir pelo menos um caminho.

Numa representação digital de uma rede, a topologia deve encontrar-se implícita (existe de fato ligação entre os diversos elementos) e explícita (existe informação sobre essa conexão nas tabelas relacionadas). Embora tal informação nas tabelas seja em muitos sistemas criada de forma automática, é geralmente necessário, por parte do utilizador, um trabalho de correção, a fim de instruir o sistema para que se represente e modele a rede com atenção aos constrangimentos à circulação verificada na realidade - por exemplo, modelar vias de sentido único.

3.4 Impedâncias

A impedância pode ser definida como a maior ou menor dificuldade em atravessar um determinado arco ou nó, ou seja, é a resistência ao movimento, o custo de atravessamento. Os valores de impedância podem ser associados aos arcos e nós como um campo da tabela de atributos da base de dados, e ser expresso com base em diversos critérios, tais como a distância total percorrida, o tempo despendido, o custo em termos de combustível, etc.

Na modelação de um sistema de transportes, e no sentido de garantir análises tanto quanto possível eficientes e próximas da realidade, pode-se atribuir valores de impedância aos arcos e aos nós da rede.

Ao nível dos arcos, a impedância descreve o custo de atravessamento de um arco, de uma extremidade à outra.

Por seu lado, a impedância sobre os nós pretende representar a maior ou menor dificuldade de atravessamento dos nós da rede, geralmente a mudanças de direção, ou outros elementos que podem representar atrasos na circulação, como a modelação de tempo médios de espera nos sinais luminosos de tráfego.

3.5 Caminhos Ótimos

O problema de encontrar o caminho mais curto entre dois nós de um grafo ou uma rede consiste, genericamente, em encontrar o caminho de menor custo entre dois nós da rede, considerando a soma dos custos associados aos arcos percorridos.

O problema do caminho mínimo se adapta a diversas situações práticas. Em roteamento, por exemplo, pode-se modelar os nós do grafo como cruzamentos, os arcos como vias, e os custos associados aos arcos correspondem a tempo de trajeto ou distância percorrida, e a solução será o caminho mais curto ou o caminho mais rápido entre dois pontos.

Os algoritmos especializados em solucionar o problema do caminho mínimo são, eventualmente, chamados de algoritmos de busca de caminhos, dentre os quais os mais conhecidos são:

- **Algoritmo de *Dijkstra***, cujo nome se origina de seu inventor, o cientista da computação Edsger Dijkstra. Soluciona o problema do caminho mais curto para um grafo dirigido com arestas de peso não negativo. O algoritmo que serve para resolver o mesmo problema em um grafo com pesos negativos é o algoritmo de Bellman-Ford.
- **Algoritmo de *Bellman-Ford*** é um algoritmo de busca de caminho mínimo em um dígrafo ponderado, ou seja, cujas arestas têm peso, inclusive negativo. O Algoritmo de Dijkstra resolve o mesmo problema, em um tempo menor, porém exige que todas as arestas tenham pesos positivos. Portanto, o algoritmo de Bellman-Ford é normalmente usado quando existem arestas de peso negativo.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1 Descrição da Região

A Região do Barreiro localiza-se na zona Oeste do Município de Belo Horizonte, constituindo-se um dos grandes pólos regionais da cidade. Está situada a aproximadamente 10 km de distância do centro de Belo Horizonte, fazendo divisa com os Municípios de Nova Lima (Leste), Contagem (Norte), Ibirité (Oeste) e Brumadinho (Sul).

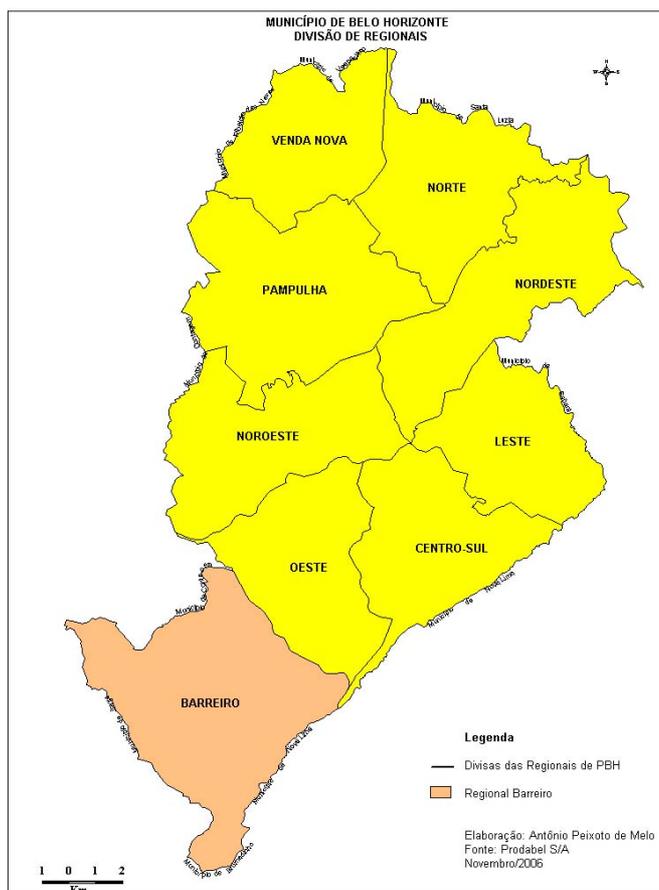


Figura. 2: Divisão das regionais

A formação dessa regional iniciou-se no século XVII, sendo a princípio uma colônia agrícola, onde se abrigavam negros, agricultores, comerciantes e estrangeiros. Na década de 1950, a região atingiu seu perfil industrial com a instalação da Cia. Siderúrgica Mannesmann e passou a constituir um núcleo industrial com forte concentração de operários, o que acarretou o aumento da população no local.

O desenvolvimento, vinculado à indústria tradicional, deu à Regional Barreiro um certo grau de autonomia em relação ao centro metropolitano, extrapolando os limites do Município, polarizando 500 mil pessoas de municípios cornubados, como Contagem e Ibirité. Portanto, essa região tem um potencial polarizador de atividades econômicas e serviços sociais básicos, tanto para a população residente como para os municípios cornubados.

Nos últimos anos foi foco preferencial para a construção de conjuntos habitacionais destinados à população de baixa renda, o que explica a presença de 78.876 domicílios e de 263.375 habitantes, segundo o Censo do IBGE realizado em 2000, distribuídos em 69 bairros e vilas. E possui também dois distritos industriais.

Pode-se dividir a região em cinco áreas, para análise do seu processo de crescimento e ocupação:

- a) Bairros Barreiro de Baixo, Milionários, Santa Helena, Olaria, Teixeira Dias e parte do Bairro das Indústrias: são de ocupação antiga; constituem o centro tradicional da região e apresentam hoje verticalização e mudança de uso; expressiva concentração de comércio e serviços no Centro do Barreiro; população predominantemente de classe média.
- b) Bairros Barreiro de Cima, Flávio Marques Lisboa, Cardoso, Santa Cruz, Pongelube e parte do Bairro das Indústrias: são ocupados principalmente pelos conjuntos habitacionais ali construídos.
- c) Bairros Durval de Barros, Washington Pires, Lindéia, Tirol, Regina, Jatobá, Vale do Jatobá e Independência: encontram-se ao longo das divisas dos Municípios de Ibirité e Contagem, tendo apresentado o maior crescimento populacional da região nas últimas décadas, devido ao grande número de conjuntos habitacionais construídos pelo Poder Público. A maior parte de sua população é de baixa renda.

- d) Área rural e de preservação: com trechos pertencentes ao perímetro de tombamento da Serra do Curral, ao sul da região, delimitada pela via férrea, se estendendo até os limites sul e sudeste, inclui área de matas e de proteção de mananciais.
- e) Bairro Olhos D'Água (Pilar): é desligado fisicamente da região, possuindo ligação funcional com as regiões Centro-Sul e Oeste. Houve diminuição do número de domicílios, com mudança de uso, tendo em vista a substituição de residências por indústrias.

4.1.1 Distribuição da População

A Figura 3 apresenta a distribuição da população por área homogênea¹, segundo dados da Fundação João Pinheiro. Três áreas homogêneas destacam-se como mais populosas, entre 14.800 e 18.600 habitantes: 1223 (Lindéia), 1228 (Vale do Jatobá) e 1229 (Petrópolis). Pertencem ao segundo grupo das mais populosas (entre 11.100 e 14.800 habitantes) as seguintes áreas homogêneas: 1211 (Milionários), 1218 (Brasil Industrial) e 1225 (Jatobá/Marilândia).

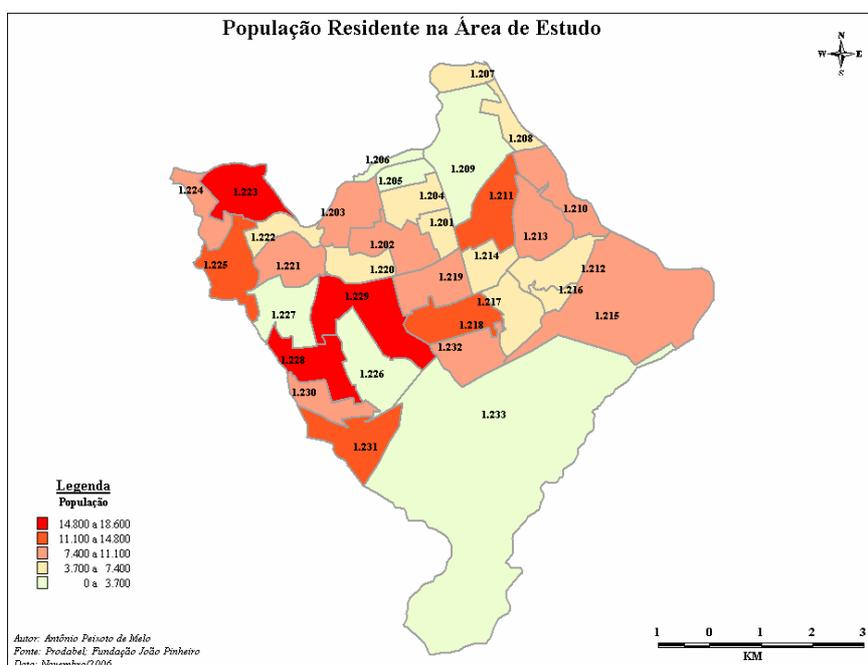


Figura. 3: População residente na área de estudo

¹ Uma área homogênea é a agregação, em média, de três a quatro setores censitários - IBGE. A agregação obedeceu a critérios geográficos e técnico-econômicos (relatório pesquisa origem e destino 2001-2002 da FJP).

Pesquisa de Origem e destino da Fundação João Pinheiro (2001) identificou que 40% dos deslocamentos com origem no Barreiro têm como destino a própria região. Esse elevado percentual de viagens intra-regionais indica que o Barreiro possui uma dinâmica interna significativa abrigo diversos serviços de consumo coletivo.

Segundo informações registradas no site da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte:

A localização favorável dos centros do Barreiro, como são os casos do Bairro das Indústrias, Barreiro de Cima, Tirol, Regina e Lindéia, estrutura os deslocamentos principais e a vida cotidiana urbana. A cultura do consumo é desenvolvida por uma concentração de serviços, como os de alimentação, comércio e serviços pessoais, e de indústrias. Notifica-se também a presença do setor informal distribuído nas vias mais centrais do Barreiro de Cima. O estilo de viver é caracterizado pela ampla oferta de atividades comerciais e de consumo como, por exemplo, bares, lanchonetes, mercearias, quitandas, padarias, supermercados, lojas de roupas feitas e armazéns. Pode-se apontar também uma grande presença de oficinas mecânicas e de conserto de eletrodomésticos, salões de beleza e barbearias.

A mesma pesquisa da Fundação João Pinheiro, já citada, mostra os meios de transporte utilizados para realizar os deslocamentos internos, representados na Figura 4.

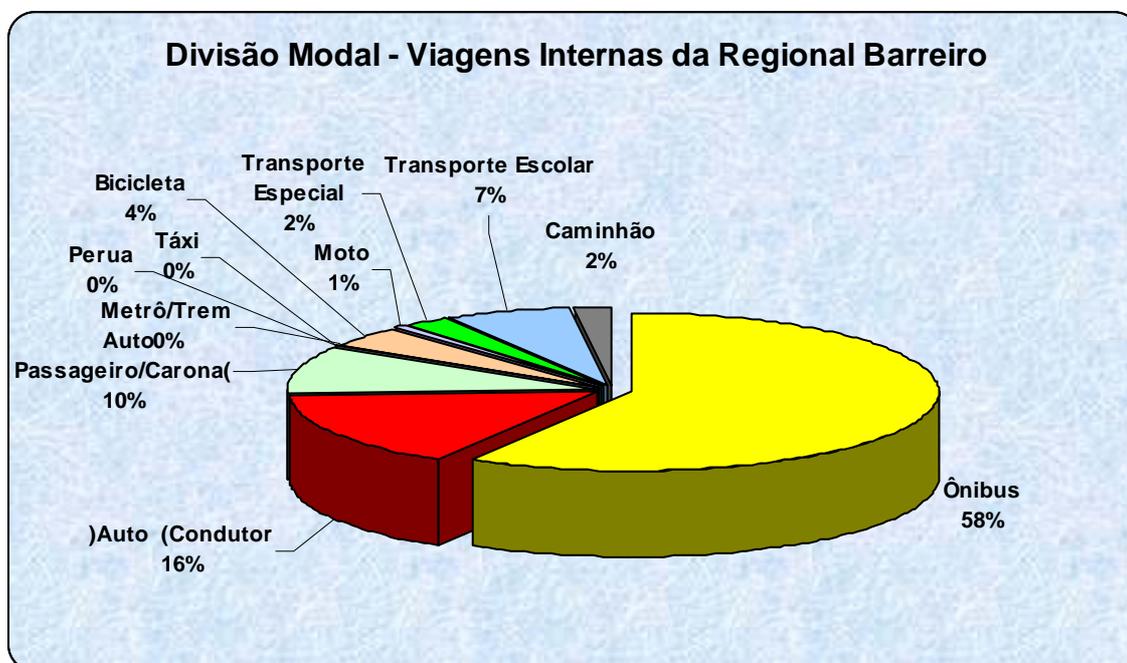


Figura. 4: Divisão modal das viagens

4.1.2 Concentração das Atividades Econômicas

Conforme dados de 1996, obtidos da Secretaria Municipal da Fazenda de Belo Horizonte (Figura 4), há uma concentração das atividades econômicas nas áreas homogêneas 1205 (Barreiro de Baixo), 1208 (Bairro Novo das Indústrias), 1209 (Manesman). Numa escala menor, também se destacam as áreas homogêneas 1211 (Milionários), 1214 (Araguais), 1219 (Resplendor), 1221 (Tirol) e 1223 (Lindéia).

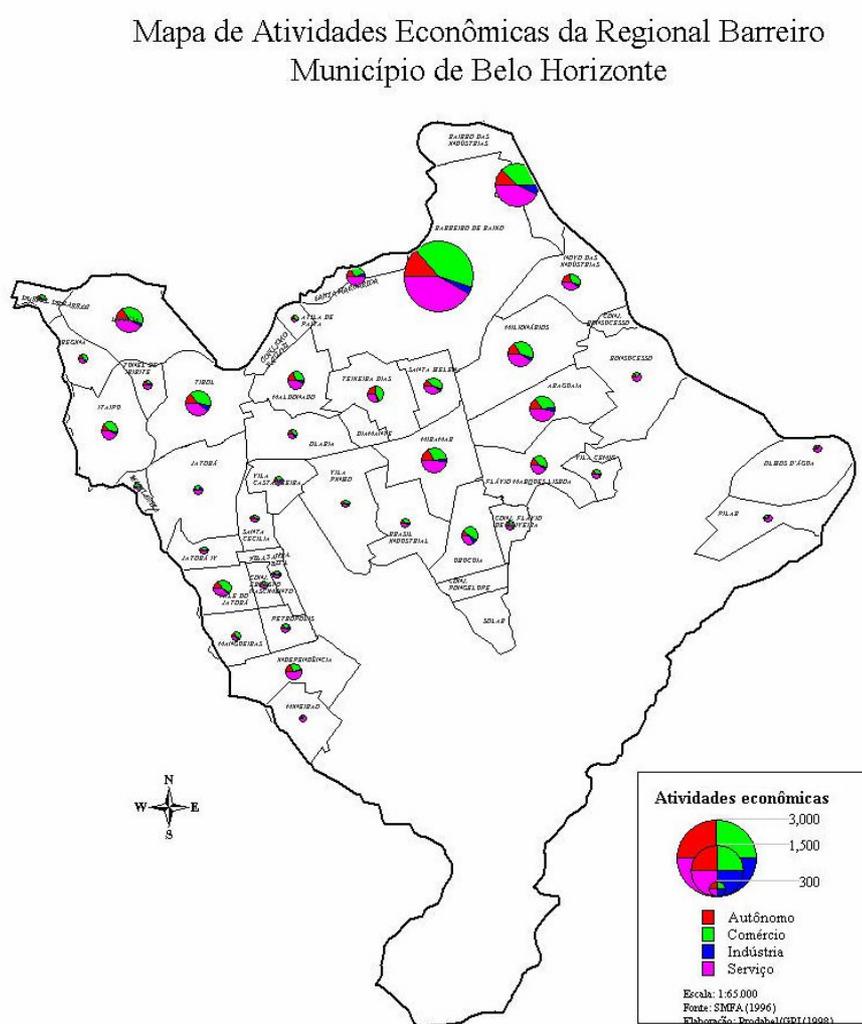


Figura. 5: Concentração das atividades econômicas na Regional Barreiro

4.1.5 Sistema Viário

A região do Barreiro é completamente atípica no contexto municipal, isolada pelo sistema viário, sem ligação direta com o centro de Belo Horizonte e separada da região oeste pelo Anel Rodoviário.

As principais vias de acesso do Barreiro são as avenidas Olinto Meireles e Valdir Soeiro Emrich (Via do Minério), das quais se originam outras ruas e avenidas de ligação aos outros bairros. O prolongamento da Av. Valdir Soeiro Emrich é denominado Av. Solferina Ricci Pace e se estende até o Município de Ibirité.

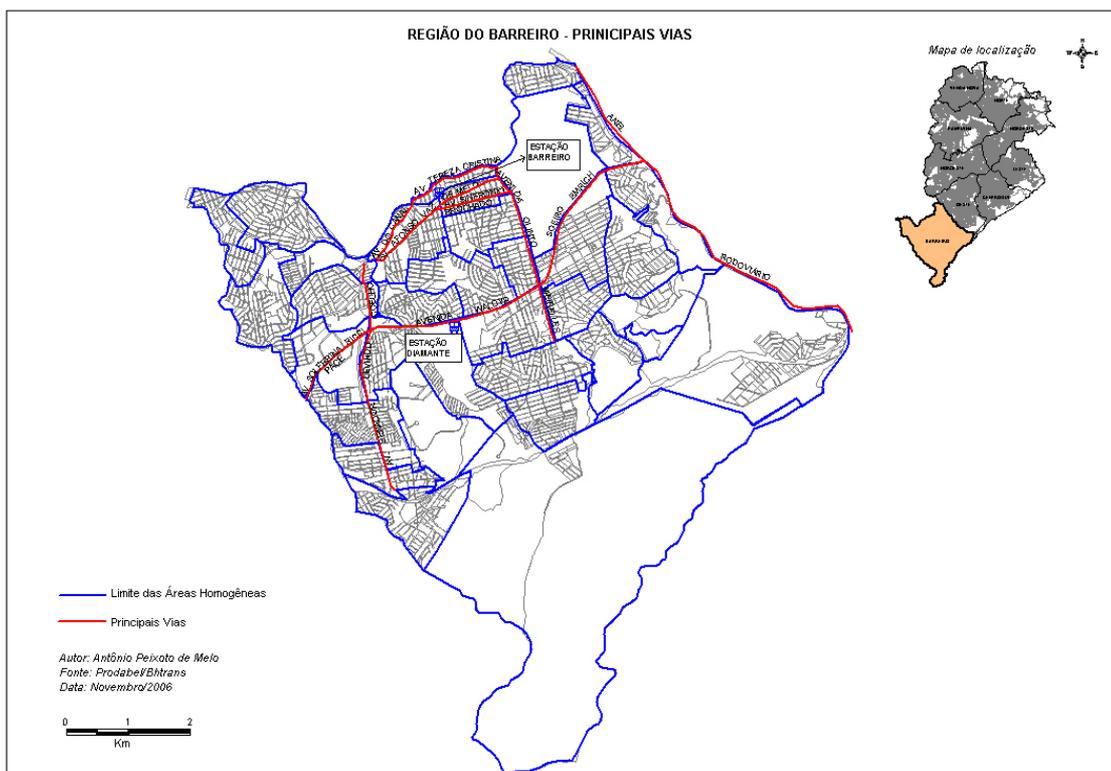


Figura. 8: Principais vias da região

4.2 Sistema de Transporte de Belo Horizonte

O sistema regular de transporte coletivo de Belo Horizonte atualmente é formado por linhas originadas do antigo sistema PROBUS (criadas em 1982 pela METROBEL que gerenciava todas as linhas da Região Metropolitana de Belo Horizonte) e por novos tipos de serviços criados pela BHTRANS.

O antigo sistema PROBUS criou as linhas **diametrais** (ônibus na cor azul), que fazem a ligação entre dois bairros passando pela área central de Belo Horizonte; as linhas **semi-expressas** (ônibus na cor vermelha), que ligavam os bairros mais distantes e outros municípios ao centro da Capital; e as linhas **circulares** (ônibus na cor amarela), que operavam na área central e em pólos específicos (Venda Nova, Barreiro, Pampulha).



Figura. 9: Identificação dos ônibus - Sistema PROBUS

Em obediência ao disposto no art. 30, da Constituição da República de 1988:

“Compete aos Municípios:

V – organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial:”

que gerou a municipalização do transporte e do trânsito, a BHTRANS vem promovendo diversas mudanças nas características do sistema, notadamente por meio do Plano de Reestruturação do Sistema de Transporte Coletivo de BH (BHBUS). As novas linhas criadas, com características diferenciadas, são:

perimetrais (ônibus na cor laranja): fazem a ligação entre bairros sem passar pelo centro da cidade;

linhas radiais (ônibus na cor azul): ligam os bairros mais próximos ao centro;

linhas alimentadoras (ônibus na cor amarela) e **linhas troncais** (ônibus na cor verde): os ônibus são integrados nas Estações BHBUS.

Além da implantação desse novo tipo de linha, utilizou-se também um novo padrão visual a fim de diferenciar o sistema municipal do intermunicipal, com a adoção de setas estilizadas nas pinturas dos veículos.

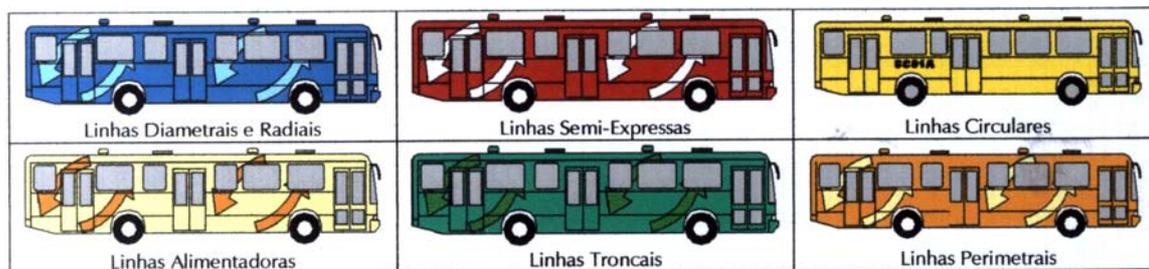


Figura. 10: Identificação dos ônibus – BHBUS

O Sistema de Transporte Coletivo por Ônibus de Belo Horizonte, responsável pela maior parte do transporte de passageiros, é operado por 46 empresas subconcessionárias, abrangendo uma frota de 2.818 veículos, distribuída em 263 linhas que transportam, diariamente, 1.484.045 passageiros pagantes, realizando 28.643 viagens/dia.*

* informações do número pagantes e de viagem, refere-se a um dia útil.

4.3 Sistema de Integração em Estações

O crescimento urbano implica a formação de pólos de geração de viagens tanto nas áreas centrais quanto na periferia. Às rotas bairro-centro e vice-versa somam-se outras: bairro-bairro, diametrais, que podem estar, ou não, ligadas ao centro. Essa expansão faz com que a configuração radial da rede de transporte coletivo exija dos usuários uma quantidade crescente de transferências para atingir o destino final da viagem, demandando mais tempo e maiores custos.

É com base nessas condições, implícitas à expansão urbana, que surgiram as principais proposta de integração dos sistemas de ônibus. De acordo com a Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos - NTU (1999: s/p), a integração tem sido vista como “um conjunto de medidas de natureza físico-operacional, tarifária e institucional destinadas a articular e racionalizar os serviços de transporte público”.

Em um sistema integrado intramodal (ônibus-ônibus), as linhas de transporte são classificadas em dois tipos básicos: troncais e alimentadoras. Elas se articulam a determinados nós da rede de transporte, que são denominados terminais de integração.

Geralmente, as linhas alimentadoras são de pequena extensão e operam sobre vias coletoras, captando ou distribuindo passageiros nas periferias urbanas, conduzindo-os, no pico da manhã, das áreas residenciais para os terminais de integração. No pico da tarde, fazem a distribuição dos terminais para as áreas residenciais ou dos núcleos periféricos de empregos para os terminais (NTU, 1999).

Nos terminais de integração, os passageiros fazem o transbordo para as linhas troncais, que melhor atendem ao destino final e às condições de viagem desejadas. As linhas troncais transportam os usuários de um terminal aos principais pólos de atração ou produção de viagens (geralmente o centro da cidade) ou entre dois ou mais terminais. Usualmente, as linhas troncais utilizam o sistema viário principal da cidade e transportam volumes relativamente altos de passageiros (*vide* Campos Filho, 1992).

O Plano de Reestruturação do Sistema de Transporte Coletivo de Belo Horizonte (BHBUS) baseia-se no atendimento à demanda por intermédio de serviços de alta capacidade (metrô) e de média capacidade (serviços troncais), alimentados em estações de integração. As linhas troncais e o metrô interligam as estações com as outras regiões, sobretudo com a Área Central.

Além disso, com o objetivo de atender a viagens mais curtas, buscando o fortalecimento de novas centralidades, foram propostas novas linhas circulares regionais.

Das quatro estações do BHBUS implantadas, duas estão localizadas na região do Barreiro, a saber:

- **Estação Diamante, em 1997;**
- Estação Venda Nova, em 2000;
- Estação São Gabriel, em 2002;
- **Estação Barreiro, em 2002.**



Figura. 11: Estação de integração - BHBUS Barreiro



Figura. 12: Estação de integração - BHBUS Diamante

4.4 Oferta de Transporte na Região do Barreiro

O Sistema de Transporte da Região do Barreiro, gerenciado pela BHTRANS, é formado por **13 linhas troncais** e **27 alimentadoras**, sendo oito o número de empresas que operam nas Estações. Existem na região as linhas troncais, 3054 e 3051, que não integram nas Estações, ligando o bairro ao Centro e à Savassi, respectivamente.

LINHA	ESTAÇÃO	NOME DAS LINHAS
30	DIAMANTE	ESTACAO DIAMANTE/CENTRO
32	BARREIRO	ESTACAO BARREIRO/CENTRO-TAMOIOS
33	BARREIRO	ESTACAO BARREIRO/CENTRO-HOSPITAIS
34	BARREIRO	ESTACAO BARREIRO/VIA EXPRESSA
35	BARREIRO	ESTACAO BARREIRO/CENTRO-VIA SANTOS DUMONT
301	DIAMANTE	SOLAR/BRASIL INDUSTRIAL
302	DIAMANTE	PINHO/NOVO SANTA CECILIA
303	DIAMANTE	SANTA CECILIA/CASTANHEIRAS
304	DIAMANTE	JATOBA IV
305	DIAMANTE	MANGUEIRAS/ ESTAÇÃO
308	BARREIRO	TIROL
309	DIAMANTE	BAIRRO PETROPOLIS
310	DIAMANTE	3 E 4 SECAO
311	DIAMANTE	MORADA DA SERRA
313	DIAMANTE	OLARIA
314	DIAMANTE	SANTA HELENA/TEIXEIRA DIAS
315	BARREIRO	ESTAÇÃO BARREIRO/ BARREIRO
316	BARREIRO	CIRCULAR SAUDE A
317	BARREIRO	CIRCULAR SAUDE B
318	BARREIRO	EST. BARREIRO/JARDIM LIBERDADE-VIA MILIONARIOS
319		VILA CEMIG/CONJ.ESPERANCA
325	BARREIRO	FLAVIO MARQUES LISBOA/ESTACAO BARREIRO
326	BARREIRO	VALE DO JATOBA/ESTACAO BARREIRO
327	BARREIRO	CARDOSO A/ESTACAO BARREIRO
328	BARREIRO	CARDOSO B/ESTACAO BARREIRO
329	BARREIRO	JATOBA/ESTACAO BARREIRO
330	BARREIRO	INDEPENDENCIA/ESTACAO BARREIRO
331	BARREIRO	CONJ.ANTONIO TEIXEIRA DIAS/ESTACAO BARREIRO
332	BARREIRO	MILIONARIOS/ESTACAO BARREIRO
333	BARREIRO	BONSUCESSO VIA MILIONARIOS/ESTACAO BARREIRO
335	BARREIRO	ESTACAO BARREIRO / LINDEIA
3050	DIAMANTE	ESTACAO DIAMANTE/HOSPITAL VIA BH SHOPPING
3051		FLAVIO MARQUES LISBOA / SAVASSI VIA N.S.CARMO
3052	DIAMANTE	ESTACAO DIAMANTE/BH SHOPPING-VIA HAVAI
3053	BARREIRO	ESTACAO BARREIRO/B.PRETO
3054		MILIONARIOS/CENTRO
3055	BARREIRO	ESTACAO BARREIRO/SAVASSI VIA BSHOPPING
3350	BARREIRO	EST.BARREIRO/EST.DIAMANTE
8350	BARREIRO	ESTACAO SAO GABRIEL/ESTACAO BARREIRO

Tabela. 2: Relação das linhas da região

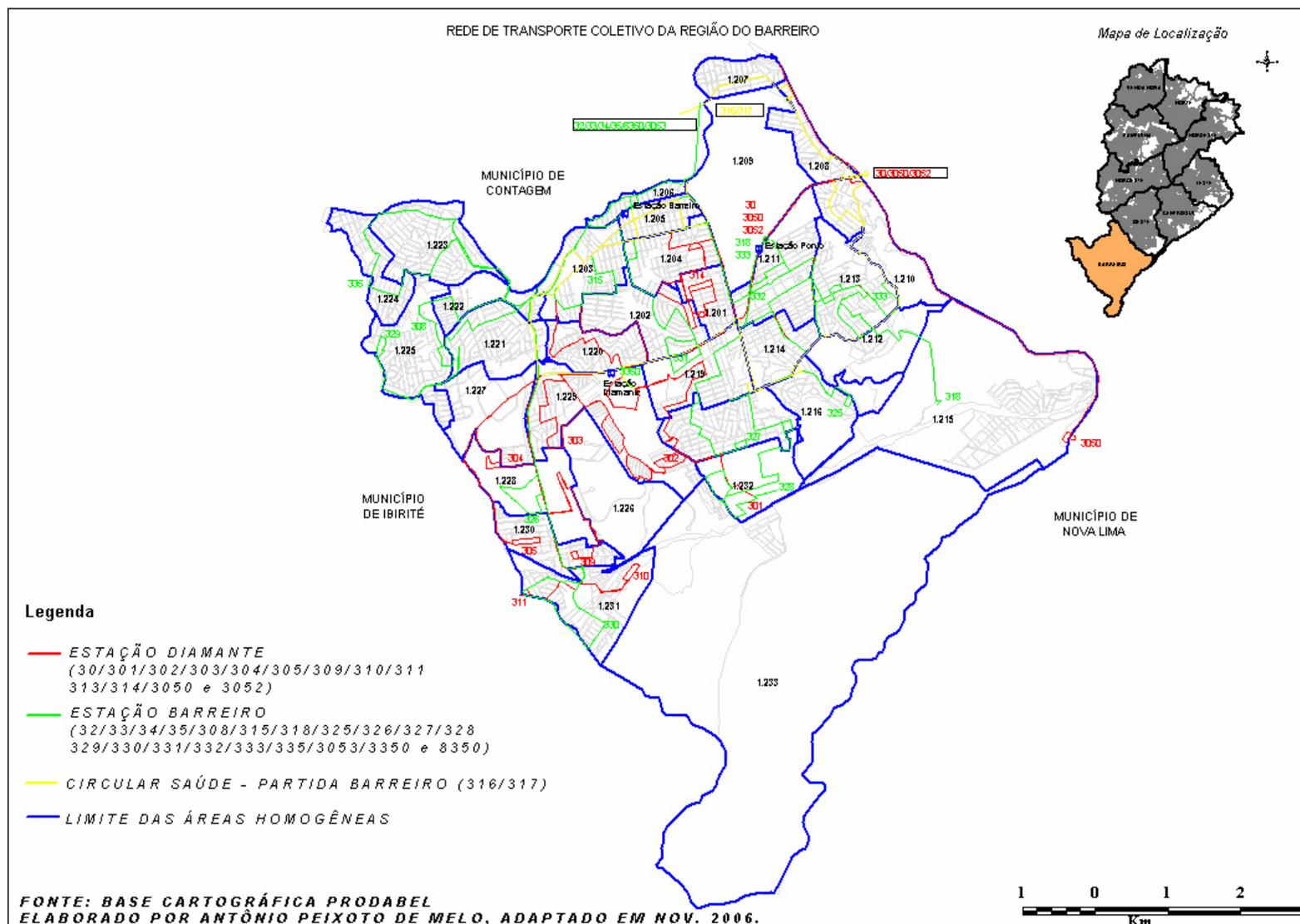


Figura. 13: Cobertura espacial da rede de transporte na região

4.5 Demanda da Região do Barreiro

As informações relativas ao número de passageiros pagantes, assim como as viagens realizadas, refere-se a toda a movimentação da Região do Barreiro, mas aqui estão incluídas também as viagens para fora da região de estudo.

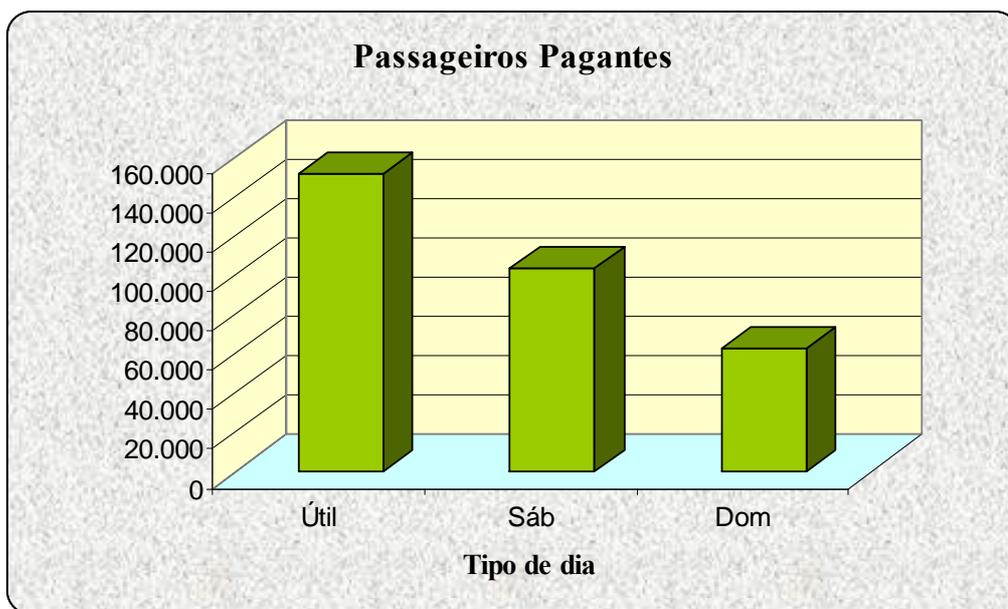


Gráfico. 1: Passageiros Pagantes/dia (outubro/2006)

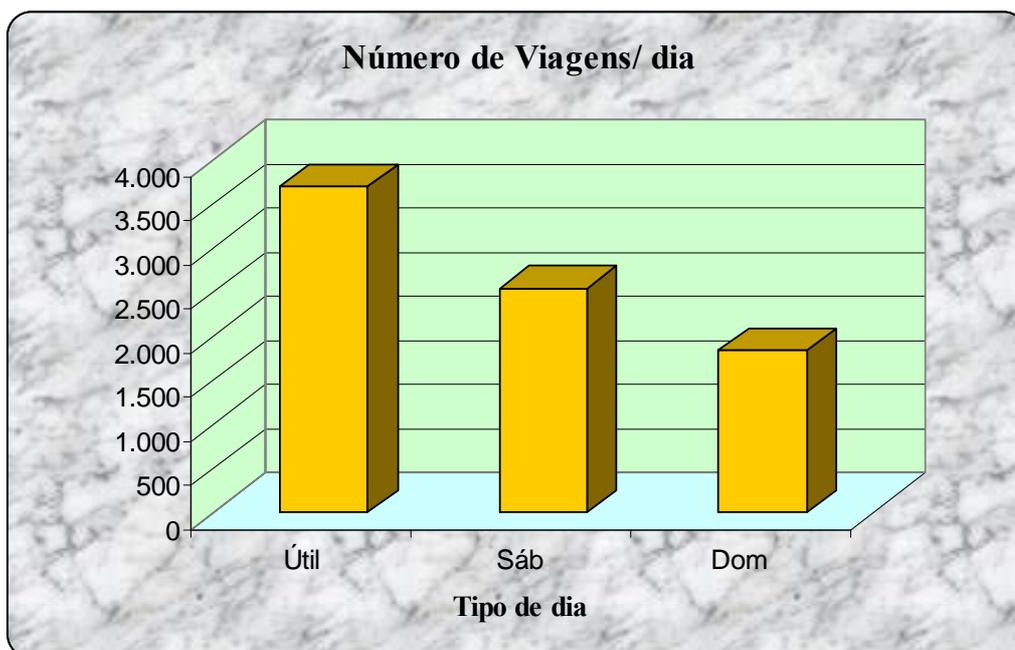


Gráfico. 2: Número de viagens/dia (mês de outubro/2006)

4.6 Geração de Viagens - Atração e Geração

De forma a caracterizar o atual padrão de deslocamentos na Região do Barreiro, faz-se necessária a identificação dos locais de origem e de destino das viagens realizadas pelos usuários do transporte coletivo. Para tanto, utilizou-se a divisão adotada pela Fundação João Pinheiro quando da execução da Pesquisa Domiciliar, em 2001, que dividiu a Região do Barreiro em várias áreas, denominadas Áreas Homogêneas, as quais, por sua vez, representam agrupamentos de setores censitários utilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A característica operacional mais evidente das áreas homogêneas é de ser compatível como os setores censitários dos Censos Demográficos do IBGE. Uma área homogênea é agregação de três a quatro setores censitários em média.

Os estudos relativos à geração de viagens constituem uma fase fundamental no processo de planejamento dos transportes, pois estão diretamente ligados ao padrão de uso e ocupação do solo, às características sócio-econômicas da população e do sistema viário do sistema de transportes e, conseqüentemente, à demanda de viagens.

A geração de viagens corresponde à etapa de estimativa do número de viagens que se origina em cada zona de tráfego (produção de viagens) e o número de viagens destinadas a cada zona (atração de viagens). Do resultado dessa análise serão determinados os principais pólos de movimentação de passageiros do sistema de transporte coletivo da Região do Barreiro.

Entre os principais fatores que têm influência na geração de viagens, destaca-se o uso do solo, em que diferentes tipos de ocupação produzem características diferentes de viagens. Exemplo: em uma área onde há grande desenvolvimento comercial, pode-se esperar maior geração de viagens do que em uma área pouco habitada. Analogamente, a intensidade com a qual as atividades são desenvolvidas pode produzir características diferentes de geração, ou seja, áreas de grande densidade residencial certamente produzirão mais viagens do que áreas de baixo adensamento populacional.

Outros tipos de uso do solo, além do residencial, do comercial e do industrial, também considerados importantes em termos de geração de viagens, são os usos para fins educacionais (universidades, faculdades, colégios, escolas em geral) ou para fins de recreação (parques, áreas de lazer).

Neste tópico será feita uma análise geral da região quanto à geração de viagens, isto é, quanto à sua produção e atração de viagens, que representará, de certa forma, os principais pólos responsáveis pela movimentação de passageiros na Região do Barreiro. Será enfocada a movimentação nos picos da manhã e da tarde, períodos em que ocorre maior número de viagens.

As Figuras 14, 15, 16 e 17 apresentam a intensidade de produção e atração de viagens nas áreas homogêneas da Região do Barreiro, permitindo a identificação dos principais pólos geradores de viagens ali existentes. Da mesma forma, podem ser observadas as áreas de menor movimentação, geralmente constituídas de parques ecológicos, áreas de preservação e industriais. Na Região do Barreiro podemos destacar as áreas 1209 (Mannesmann) e 1233 (Vazio do Ramal Águas Claras), sendo a última localizada em área de preservação, com matas de proteção de mananciais.

Como pólos geradores de viagem na região do Barreiro, podemos destacamos na região do bairro Milionários (AH 1211 e 1213), a existência dos Hospitais Júlia Kubistchek e Eduardo de Menezes, além de um Centro de Saúde e escolas da rede estadual. Já nas áreas 1203 (Colina Maldonado), 1204 (Barreiro de Baixo) e 1205 (Barreiro de Baixo - Estação BHbus), destacam-se a presença de 2 (dois) Hospitais e uma grande concentração de comércio e de serviços.

Conforme pode-se observar, a área 1211 (Milionários) aparece em todas as situações apresentadas, ora atraindo ora gerando viagens, indicando, portanto, ser uma área de grande movimentação de passageiros. Nesse sentido, apresentaremos no capítulo de resultados, através de representações gráficas, as principais trocas (deslocamentos) dessa área com as demais áreas da região de estudo.

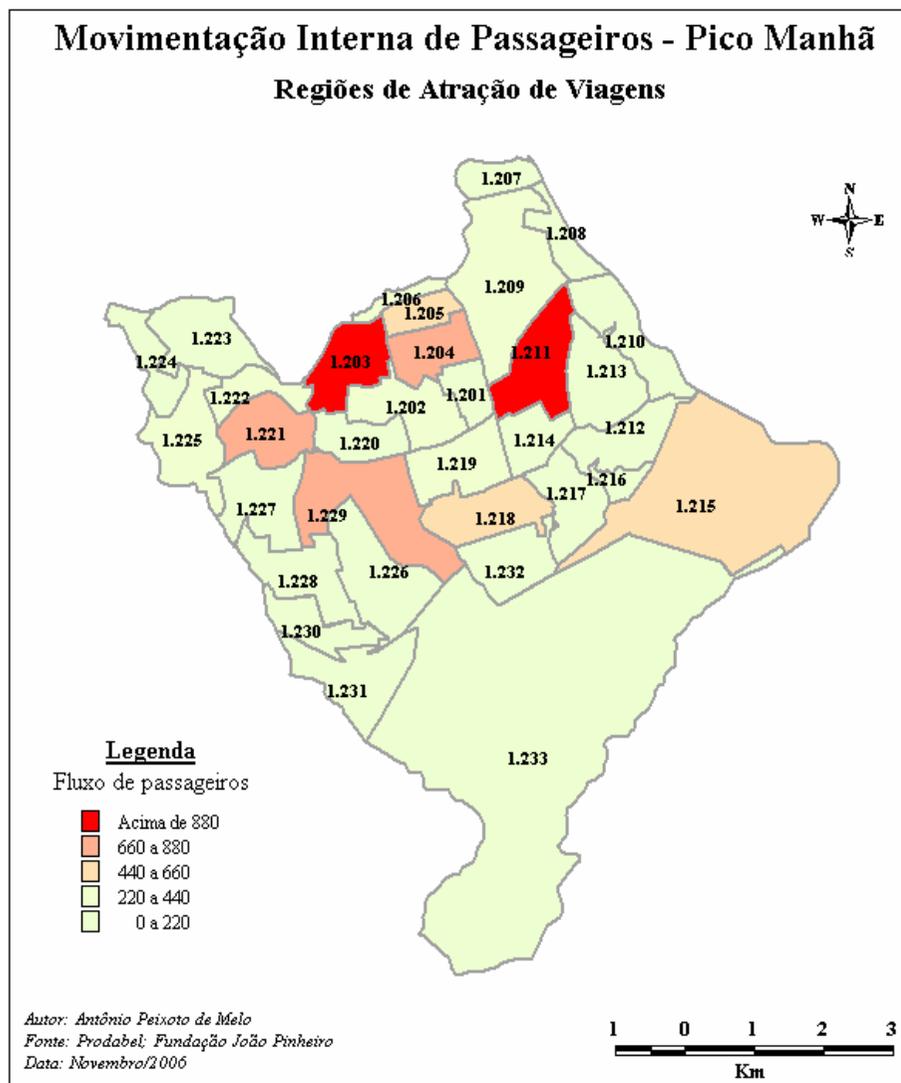


Figura. 14: Regiões de atração (manhã)

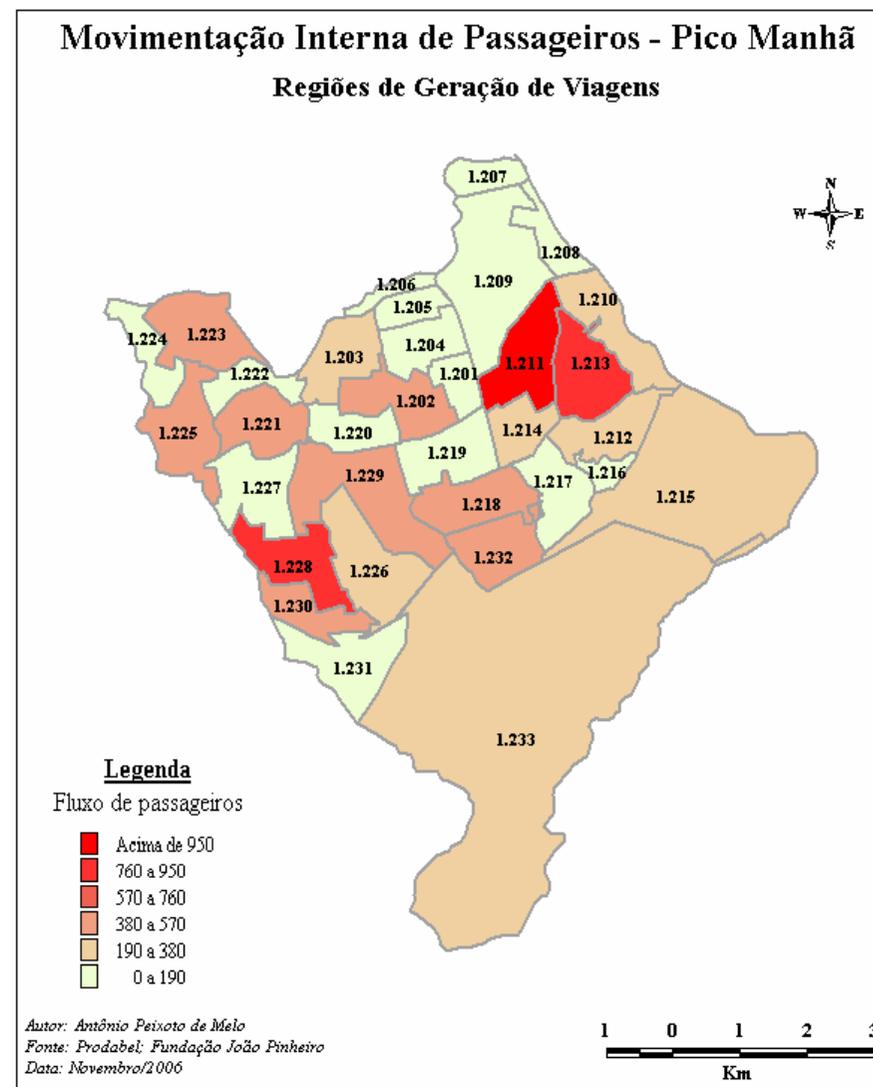


Figura. 15: Regiões de geração (manhã)

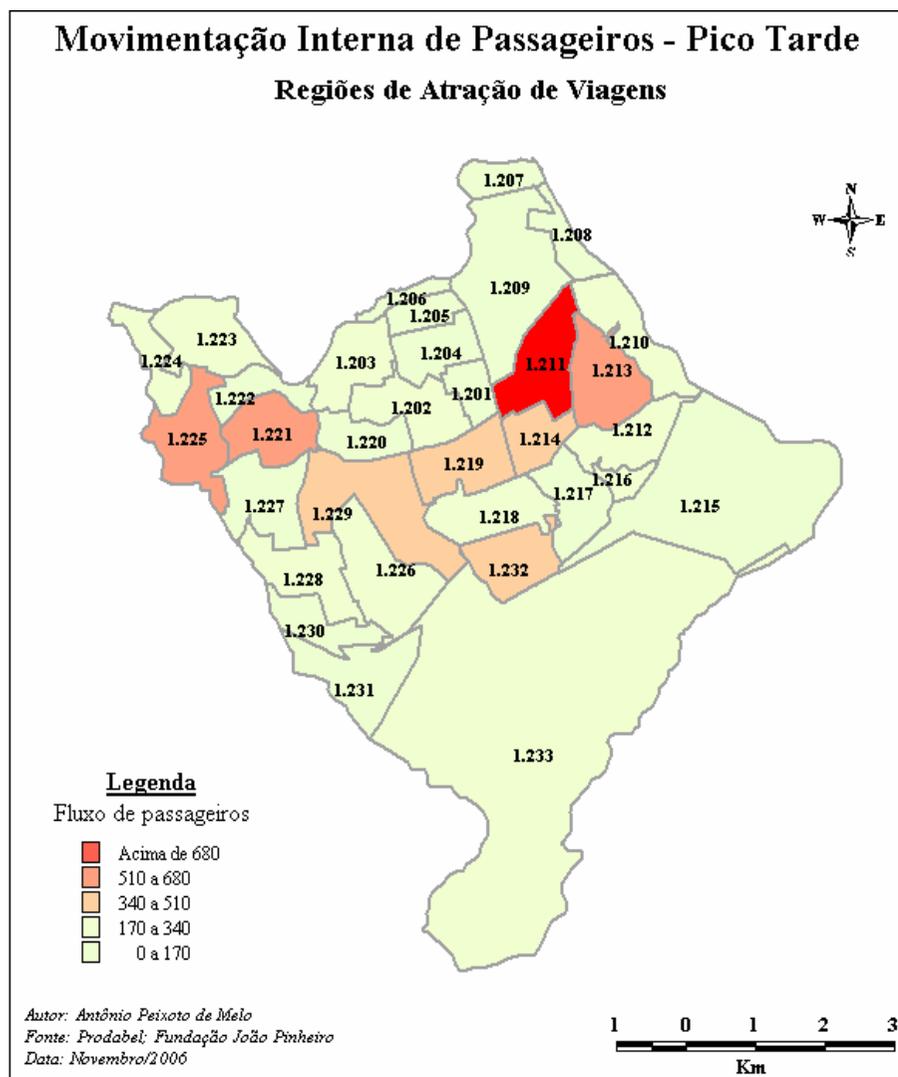


Figura. 16: Regiões de atração (tarde)

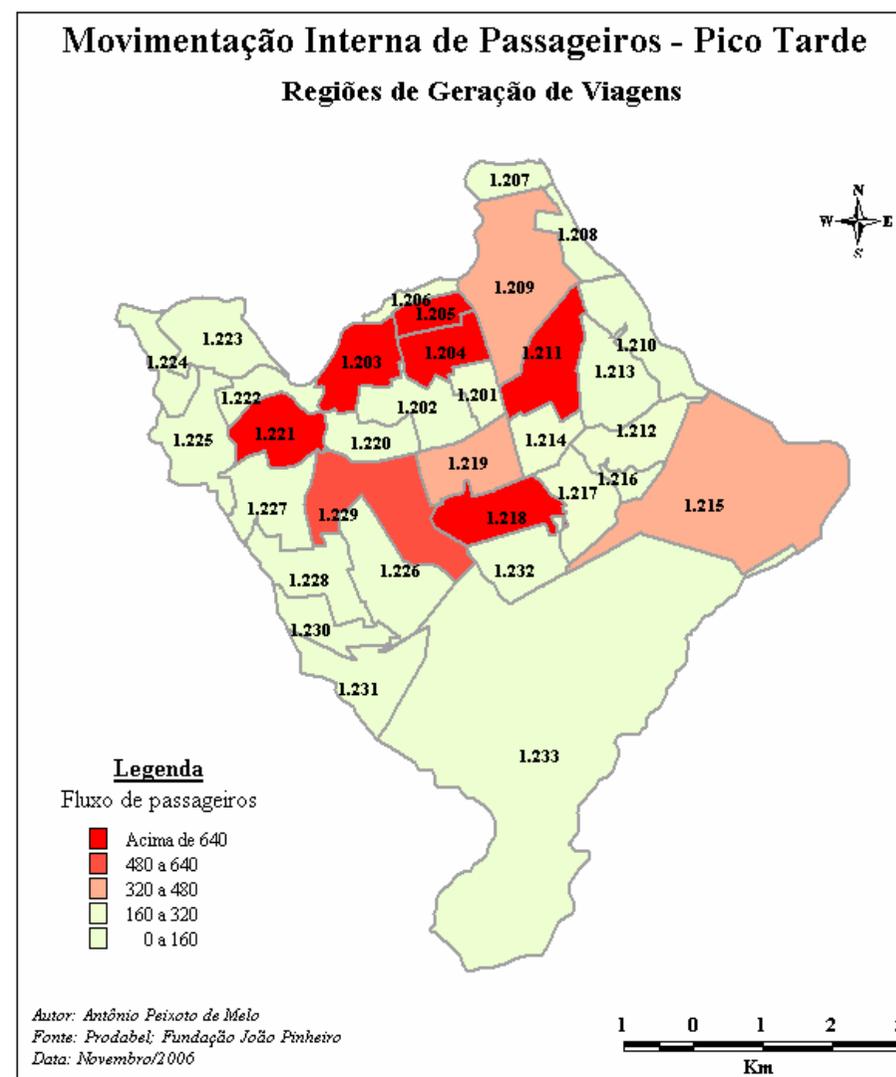


Figura. 17: Regiões de geração (tarde)

5. CONSTRUÇÃO DO SIG

O Sistema de Processamento de Informações Geo-referenciadas (SPRING) foi o SIG utilizado neste trabalho. Ele possui uma ferramenta nativa que faz cálculos de custo mínimo e pode ser utilizada para a escolha de trajetos com menor somatório de atributos. Além disso, o SPRING possui ferramentas de apoio à correção topológica da rede. Ele ainda possui a virtude de ser um programa de domínio público, sendo obtido gratuitamente pela rede mundial de computadores.

Neste capítulo, são descritos os procedimentos adotados para implantação dos dados no Software SPRING, assim como os cálculos de impedância utilizados. As etapas de construção do banco de dados envolveram desde a obtenção dos dados necessários ao desenvolvimento deste trabalho até o tratamento e preparação desses dados.

5.1 Definição da Área do Projeto

No *software* Mapinfo foram inseridas as camadas de áreas homogêneas e trecho (eixos viários), para depois delimitar a área do projeto, que compreende o espaço mapeado. Uma vez identificado o retângulo envolvente, é necessário anotar as coordenadas do canto inferior esquerdo e do canto superior direito, as quais serão utilizadas na fase de definição do projeto.

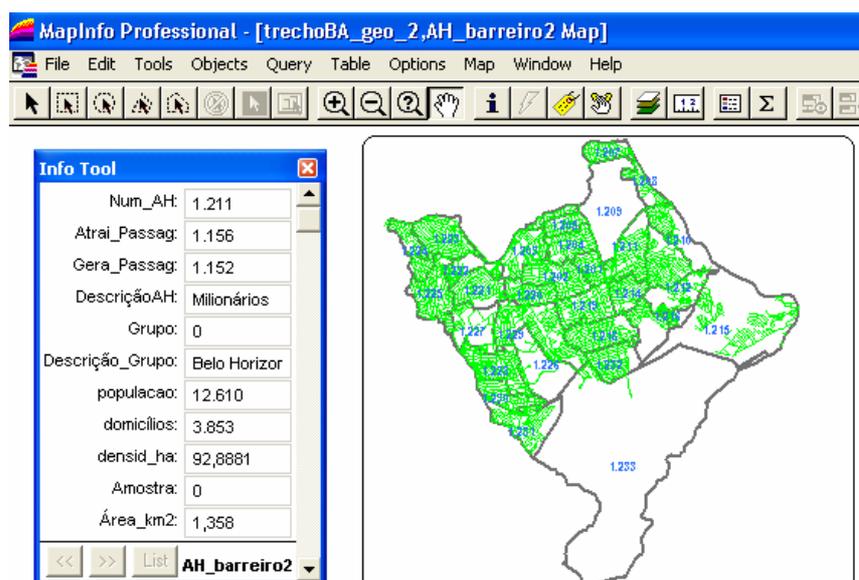


Figura. 18: Delimitação da área do projeto

Após delimitar a área de projeto, é indispensável executar a conversão e a transferência dos dados de entrada para um Plano de Informação (PI), do sistema SPRING. Primeiro, faz-se necessária a conversão do arquivo de dados de entrada para o padrão ASCII/SPRING. No caso das conversões, serão criados dois arquivos, um dos quais contendo a informação dos vetores e outro contendo os identificadores dos dados geográficos.

De maneira a permitir o funcionamento adequado do SIG, torna-se necessário verificar se todas as linhas estão conectadas aos respectivos nós para que a topologia da rede possa ficar totalmente definida. Nessa fase de consistência dos dados, constatou-se que, em razão da implantação da Estação de Integração BHBUS Barreiro, localizada na Av. Afonso Vaz de Melo, a mão direcional de algumas vias de seu entorno foram alteradas. No entanto a camada de trecho de circulação utilizada neste trabalho não sofreu a atualização necessária.

Do ponto de vista operacional do SIG - Spring, essas informações acarretam determinações de rotas ou distâncias divergentes da realidade, caso não seja feito um tratamento para desconsiderá-las. Nesse sentido foi feita a modelagem de mão direcional das vias próximas da Estação, observando os critérios descritos abaixo.

A impedância positiva é o sentido em que a linha foi topologicamente criada, enquanto a impedância negativa é o sentido contrário. Para estabelecer a mão direcional basta bloquear o sentido proibido com o valor negativo, seja este impedância positiva ou negativa.

5.2 Construção do Banco de Dados e Definição do Projeto

A fase seguinte é a construção do banco de dados e a definição do projeto, após o que se definem as categorias que irão compor a área mapeada. No caso do estudo em questão, as categorias são escolhidas de acordo com a necessidade do trabalho, e são do tipo REDE e CADASTRAL, além do tipo OBJETO, que acompanha aquelas categorias. Dentro das categorias serão adicionados os dados de Área Homogênea e os trechos de ruas, ambos com seu banco de dados.

Os dados cadastrais têm como elementos básicos os pontos, as linhas ou os polígonos que representam uma entidade do mundo real. Esses elementos possuem atributos associados que possibilitam aos SIG manipulá-los ou classificá-los. Em um mapa urbano, os elementos podem ser os polígonos que delimitam os quarteirões ou os lotes. Esses elementos gráficos podem ser associados a bancos de dados que contêm os seus atributos.

As redes têm como elementos gráficos básicos apenas as linhas e os pontos, o que resulta em uma topologia conhecida como 'arco-nó'. Elas são especialmente adequadas para representar conjuntos de entidades através das quais ocorra algum tipo de fluxo. No caso de redes, cada objeto geográfico possui uma localização geográfica exata e está sempre associado a atributos descritivos presentes no banco de dados

Entende-se por atributo qualquer informação descritiva (nomes, números, tabelas e textos) relacionada com um único objeto, elemento, entidade gráfica ou um conjunto deles, que caracteriza um certo fenômeno geográfico.

5.3 Organização dos Dados

O *software* Spring separa a interface geográfica e a interface de bancos de dados (Tabelas Alfanuméricas). Para gerenciamento do banco de dados foi escolhido o *software Microsoft Access*, escolha que se baseia na disponibilidade e facilidade de acesso por parte de usuários-padrão de informática.

Na interface do banco de dados foram adicionadas tabelas que complementam as informações presentes em cada objeto geográfico. Tais informações constituem-se de classificação das vias, tipo de pavimentação e UVP (Unidade Veículo Padrão). Essa tabela está ligada aos objetos geográficos através do código de cada trecho da base de ruas. Ainda no *Access* foi montado um formulário para o cálculo da impedância a ser trabalhada na simulação das rotas.

A organização da informação espacial é muito conveniente para permitir que diferentes variáveis sejam integradas ao banco de dados, e que diferentes tipos de estudo possam ser realizados, combinando tão-somente os fenômenos de interesse.

5.4 Método de Avaliação

É comum, nos SIG, utilizar-se os termos *impedância* ou *atrito* para denominar os atributos numéricos da rede. Esses são nomes de grandezas de outras áreas de estudo que, assim como os atributos quantitativos da rede, podem denotar uma resistência imposta a algum tipo movimento.

O método escolhido para cálculo das impedâncias é o de Avaliação pela Média Ponderada, técnica que consiste em atribuir pesos as variáveis escolhidas, cuja soma não deve exceder a 100%, e dar notas aos planos de informação presentes na variável. Conforme Xavier (2001, p.149), “Com a adoção da média ponderada está criado um espaço classificatório, em princípio ordinal, mas que pode admitir um grande e variado detalhamento na classificação das estimativas”.

Figura. 19: Formulário para cálculo de impedância

No sentido de efetivar o cálculo de avaliação no *software*, foi utilizado o método mais restritivo, em que são atribuídas notas de 0 a 10 às variáveis levadas em conta. As variáveis que serão desconsideradas (bloqueadas) recebem notas acima desse intervalo.

Para compor a impedância, foram escolhidas como variáveis a classificação das vias, o tipo de pavimentação e a unidade de veículo padrão (UVP).

Na atribuição das notas, adotou-se o seguinte critério: os maiores valores foram dados às características que apresentavam maior custo de atravessamento ao longo dos trechos do sistema viário. Diante disso, convencionou-se que, quanto maior a nota, maior a impedância.

O peso das variáveis determina sua importância dentro do fenômeno do transporte urbano. Considerados neste trabalho tipo de pavimentação e tipo de via, exerce o mesmo grau de interferência no desempenho do transporte coletivo assim como no do veículo particular.

Nas tabelas abaixo, são mostradas as notas atribuídas às variáveis escolhidas para o estudo.

Tipo de Pavimentação	Notas
Asfalto (ASF)	1
Calçamento (CAL)	3
Terra sem Pavimentação (TER)	10
Rua Projetada (PRO)	11
Rua Interrompida (INT)	12

Tabela 3: Notas tipo de pavimentação

Classificação das Vias	Notas
Arterial Primária (AP)	1
Arterial Secundária (AS)	3
Coletora Primária (CP)	5
Coletora Secundária (CS)	7
Via Local (VL)	10
Via Residencial (VR)	10

Tabela 4: Notas na classificação das vias

Classes	Número de U.V.P	Notas
Classe 1	≤ 726	1
Classe 2	$726 \leq 1280$	3
Classe 3	$1280 \leq 1833$	5
Classe 4	$1833 \leq 2387$	8
Classe 5	Acima de 2387	10

Tabela 5: Notas de U.V.P *

* Na pesquisa de contagem de veículo, utilizam-se os seguintes índices de equivalência em relação ao veículo de passeio “Unidade Veículo Padrão (U.V.P)”

	Auto	Ônibus	Moto	Caminhão
U.V.P	1,00	2,25	0,5	2,00

4.5 Simulação de Caminhos Ótimos

O problema abordado neste trabalho é o de origem e destino, que se enquadra no tipo de problemas de custo mínimo. Podem existir vários trajetos entre dois nós de uma rede e a escolha do melhor deles é o que motiva a utilização de algoritmos custo mínimo. O problema de encontrar o custo mínimo entre dois nós de uma rede consiste genericamente em encontrar o trajeto com menor somatório de atributos associados aos arcos percorridos. O custo de um trajeto é a soma de todos os atributos dos arcos percorridos, sendo que o trajeto de custo mínimo é aquele que possui o menor custo (NIKOLAKOPOULOU, 2003, p. 2). Os algoritmos de custo mínimo podem ser utilizados em redes em que as grandezas associadas aos arcos se acumulem ao longo do trajeto.

Com o uso dos algoritmos de custo mínimo, os SIG podem identificar o conjunto de arcos que possuem menor somatório de atributos quantitativos entre dois nós quaisquer da rede geométrica e assim escolher um trajeto segundo este atributo. O comprimento é um atributo quantitativo bastante utilizado para escolha de trajetos em modelos de rede implementados nos SIG. Nesse caso, o trajeto de custo mínimo equivale ao trajeto mais curto.

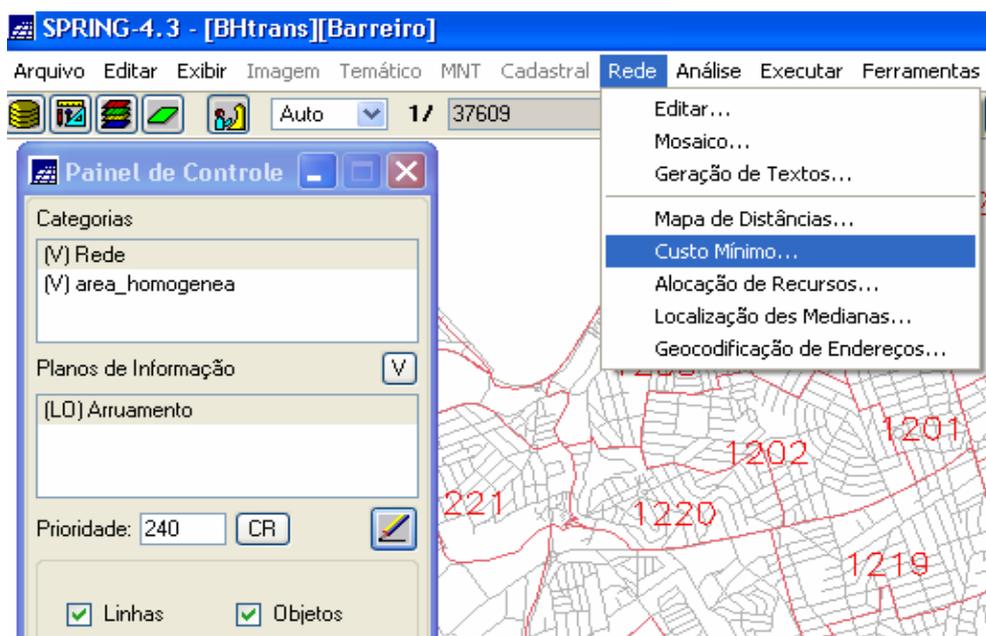


Figura. 20: Apresentação do 1º passo para simulação

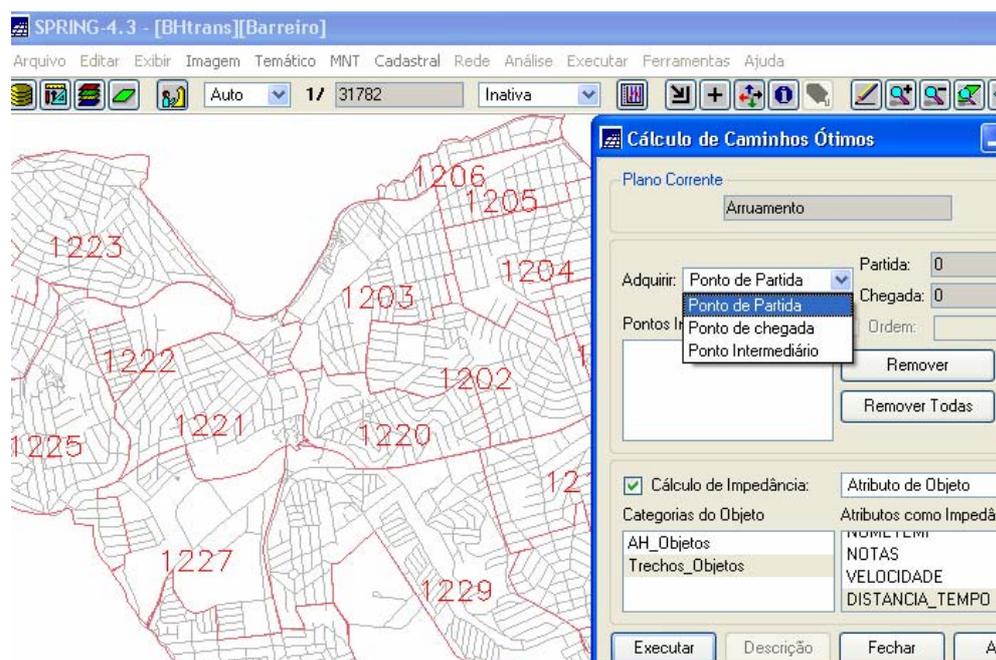


Figura. 21: Apresentação do 2º passo para simulação

No sentido de efetivar a simulação pretendida, é necessário definir o ponto de partida assim como o de chegada. O algoritmo utilizado, custo mínimo, aceita paradas intermediárias entre a origem e o destino e considera como impedância atributos de objeto (distância-tempo) no cálculo do caminho ótimo.

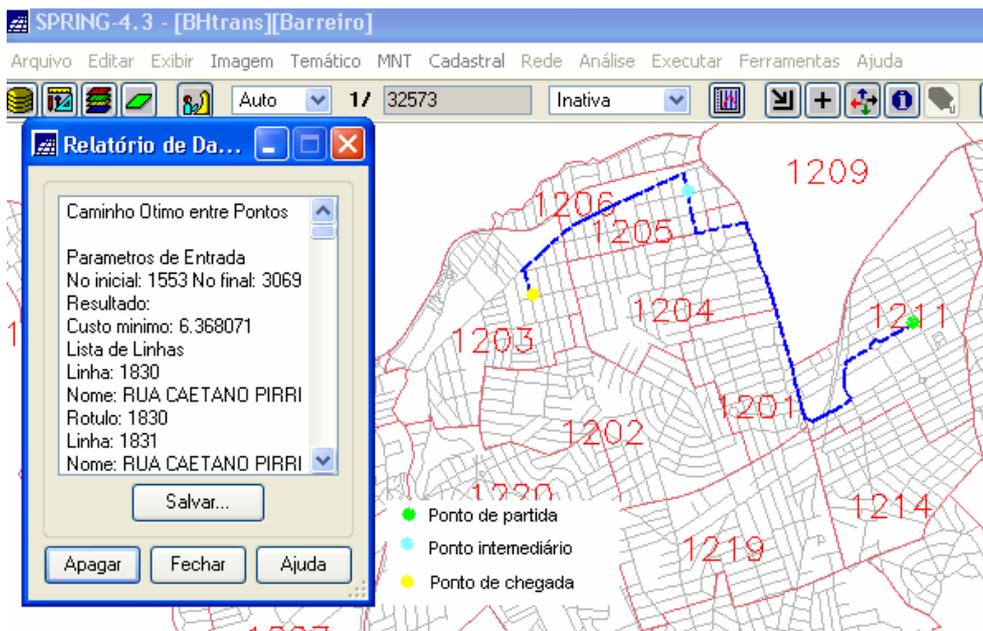


Figura 22: Exemplo de simulação de rota

Na simulação apresentada na figura 22, levou-se em consideração para cálculo da impedância não somente a simples distância entre os pontos da rede, mas outros fatores, tais como tipo de pavimentação, classificação da via e UVP. Os pontos foram escolhidos aleatoriamente, sendo o ponto de partida na área 1211 (Milionários), o ponto intermediário 1205 (Barreiro de Baixo) e o ponto de chegada está localizado na área 1203 (Colina Maldonado).

4.6 Cálculo da Distância-Tempo

A Distância-Tempo refere-se ao tempo gasto para percorrer um determinado trecho. Em fluxos de rede, tendo como base o sistema viário, o tempo gasto de deslocamento torna-se mais pertinente do que a simples distância linear do grafo. Os centros urbanos de hoje estão repletos de exemplos onde a distância é frequentemente subjugada pelo tempo de deslocamento.

Uma vez definida as notas atribuídas as variáveis e de posse das velocidades de cada trecho dos logradouros, definiu-se a utilização da chamada “Distância-Tempo” para ser usada como impedância de rede.

Definida a fórmula do cálculo da impedância, temos:

$$\mathbf{Dist\grave{a}ncia_Tempo} = \text{Dist\grave{a}ncia} / \text{Velocidade}$$

Este cálculo foi aplicado a todos os trechos de rua, onde a distância mencionada acima é a extensão do trecho. Quanto a velocidade, será aplicado o modelo criado no software *Microsoft Access*, fazendo-se uma interpolação entre as notas e as respectivas velocidades máxima e mínima. Esta interpolação é descrita a seguir:

$$\frac{(\text{Nota M\acute{a}xima} - \text{Nota M\acute{i}nima})}{(\text{Nota M\acute{a}xima} - \text{Nota do trecho})} = \frac{(\text{Velocidade M\acute{a}xima} - \text{Velocidade M\acute{i}nima})}{(\text{Velocidade} - \text{Velocidade M\acute{i}nima})}$$

A partir desta interpolação tem-se que, a variação das notas obtida por cada trecho está relacionada à variação da velocidade permitida em cada segmento. Neste caso:

$$\Delta N / (N_{\text{m\acute{a}x}} - n) = \Delta V / (v - V_{\text{min}}) \quad \Rightarrow \quad v = \Delta V (N_{\text{m\acute{a}x}} - n) / \Delta N + V_{\text{min}}$$

Onde :

N = Nota

n = Nota do trecho

V = Velocidade

v = Velocidade desenvolvida

Lembrando que as velocidades foram trabalhadas em *m/s*. O resultado da equação descrita acima representa a velocidade possível a ser desenvolvida no trecho de acordo com as características estudadas. O resultado final da equação geral foi dividido por 60 para obtermos a Distância-tempo em minutos.

6. RESULTADOS

Uma vez concluída a etapa de construção do SIG, passa-se a verificar a aplicabilidade das ferramentas utilizadas neste trabalho.

O primeiro passo para a simulação de rotas ótimas, uma vez identificados os deslocamentos pretendidos, através das informações extraídas da pesquisa OD da Fundação João Pinheiro, foi a construção, no *software* Mapinfo, de mapas de linhas de desejo.

O estudo das áreas com maior ou menor movimentação de passageiros foi realizado com auxílio das Linhas de Desejo, que são representações gráficas das principais trocas (deslocamentos) de cada área homogênea com as demais da região em estudo. A espessura das linhas indica a intensidade de deslocamentos, ou seja, o fluxo de passageiros oriundo de cada área.

A área 1211 (Milionários) foi definida como objeto das simulações por ser a que se destacou tanto como geradora (pico manhã) como atratora (pico da tarde) de viagens. Nesta área são produzidas (originadas) no pico da manhã 1152 viagens, o que representa 11% do total de deslocamentos produzidos na região do Barreiro.

PICO MANHÃ				
	06 às 06:59	07 às 07:59	Soma	
	1203	0	181	181
	1204	90	0	90
	1211	90	179	269
Geração de 1211	1212	0	51	51
	1218	90	90	180
	1228	0	66	66
	1229	250	65	315
				1.152

PICO TARDE				
	17 às 17:59	18 às 18:59	Soma	
	1203	181	181	181
	1211	232	0	232
	1212	79	0	79
	1217	90	43	133
	1218	90	242	332
	1229	90	144	234
				1.191

Atração para
1211

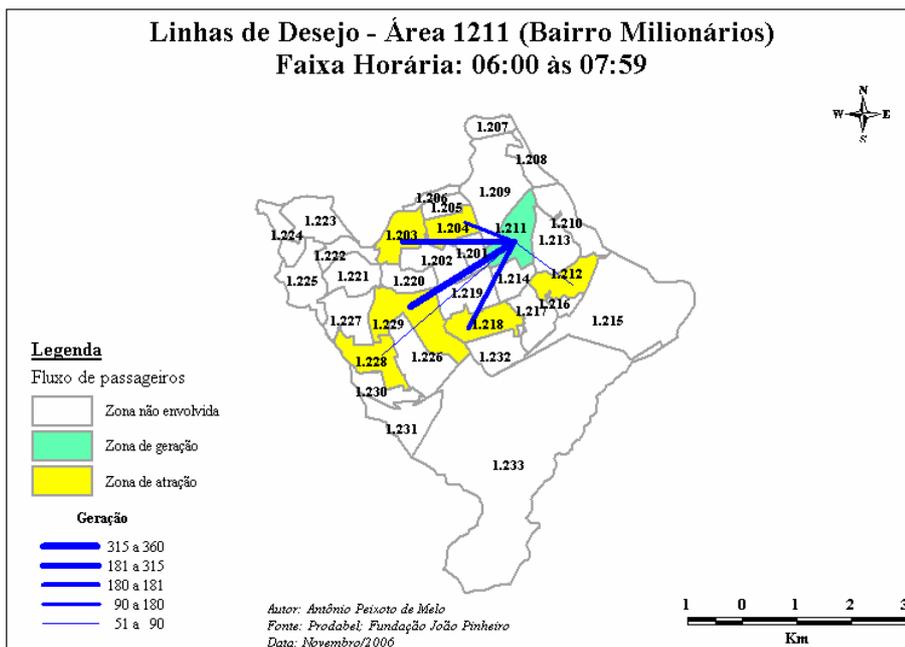


Figura. 23: Geração de viagens (pico da manhã)

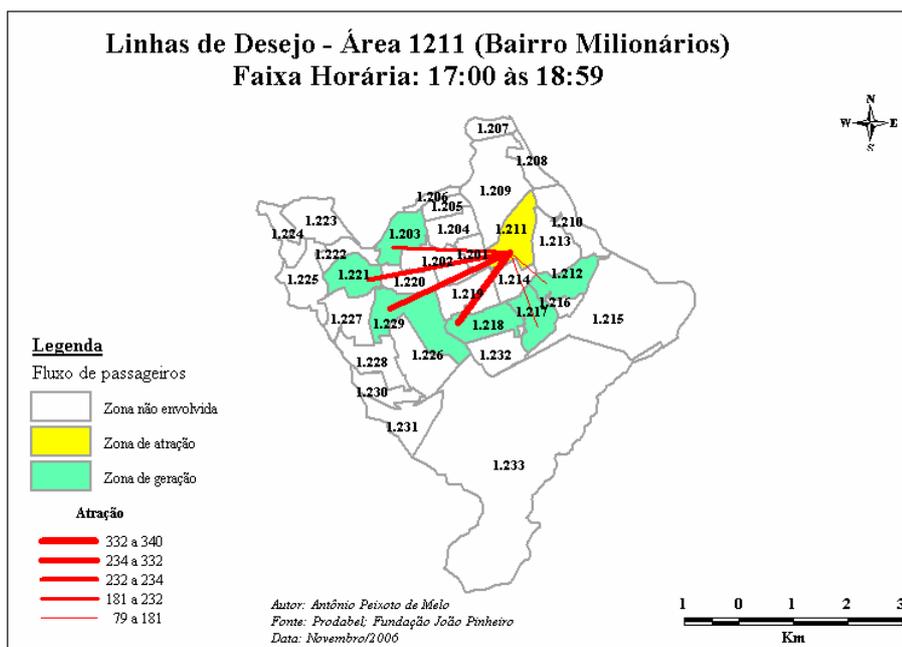


Figura. 24: Atração de viagens (pico da tarde)

A análise geral das linhas de desejo e da Matriz OD indica uma concentração de viagens da área 1211 (Milionários) em direção às áreas 1218, 1229 e 1203, mas movimentações internas também são verificadas, em virtude dos serviços disponíveis na própria região (comércio, escolas e equipamentos de saúde).

É importante salientar que a rede de transporte atual do Barreiro, no caso das regiões enfocadas no estudo, não atende o usuário do serviço de forma a possibilitar-lhe atingir seu destino sem antes passar por um ponto de conexão (terminais de ônibus).

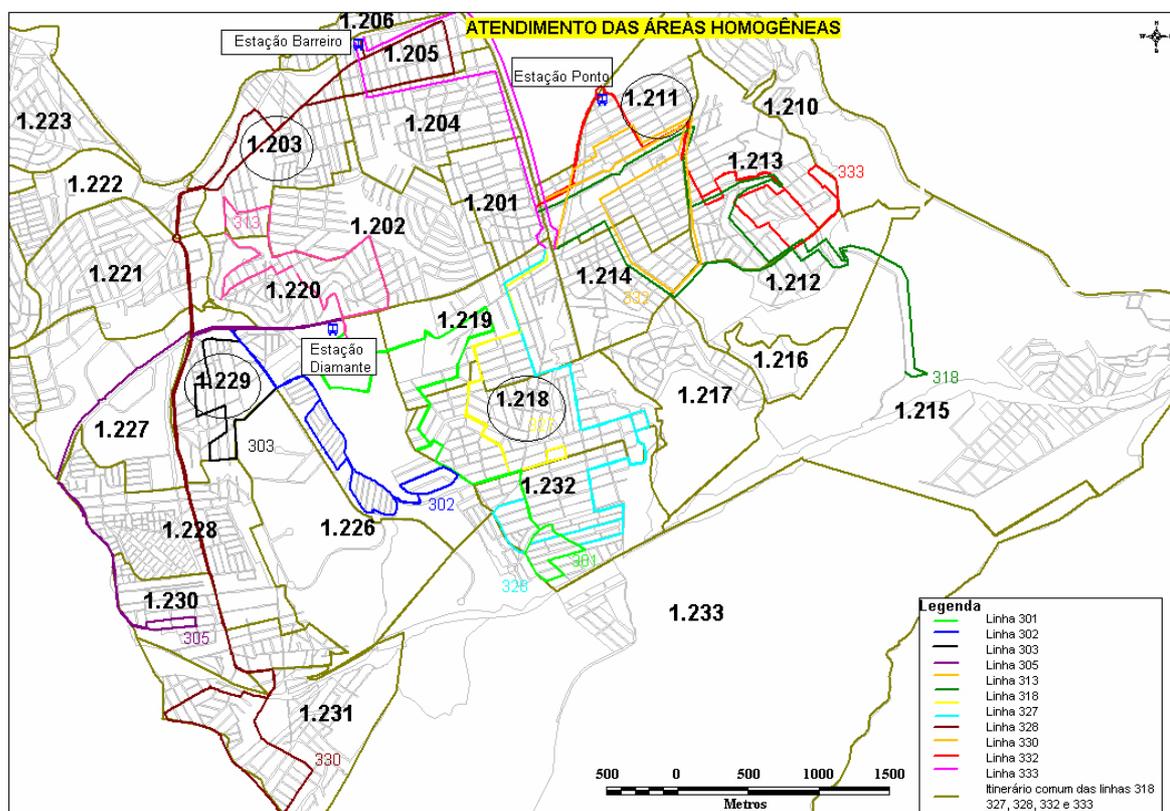


Figura. 25: Atendimento das áreas homogêneas

Conforme mostrado na figura anterior, os itinerários das linhas da região em estudo não permitem que o usuário que tem como origem a área 1211 e destinos as 1218, 1229 e 1203, chegar ao seu destino final sem antes fazer uma troca no interior da Estação de Integração (Barreiro) para outra linha alimentadora. É importante enfatizar que essa troca acarretará sempre maior dispêndio de para realizar o deslocamento pretendido pelo usuário.

Diante da situação apresentada no parágrafo anterior, passamos a comparar o tempo gasto para realizar o deslocamento no atual sistema de transporte da região, com a rota traçada pelo software Spring.

Para chegar ao tempo total de viagem apresentado nas simulações a seguir, foi considerado 3 seg./por passageiro o tempo gasto para embarque e 24 seg./por ponto o tempo necessário para que o ônibus efetue a manobra de entrada e saída do ponto de embarque. Esses períodos de tempo citados são os utilizados nos trabalhos realizados pelos técnicos da Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte (BHTRANS). Considerou-se, ainda, um ponto de embarque/desembarque (PED) a cada 300 metros ao longo do itinerário e 70 passageiros transportados por viagem.

1ª SIMULAÇÃO

Tempo gasto no atual sistema

Troca da área homogênea 1211 (Milionários) com a 1218 (Brasil Industrial/ Vila Sales).

LINHA	TV-1	TERMINAL	TV-2	TOTAL
332	36 min			
		10 min		
327			38 min	47 min

Fonte: BHTRANS

Tv-1 = tempo da 1ª viagem

Tv-2 = tempo da 2ª viagem

Conforme pode-se observar na Figura 25, o morador da área 1211 (Milionários) cujo destino é a área 1218, utiliza duas linhas alimentadoras para realizar o deslocamento desejado, embarcando inicialmente na linha 332, fazendo a troca no interior Estação de Integração - Barreiro para linha 337, chegando até seu destino final com um tempo total de deslocamento de 47 minutos.

Para chegar ao tempo total mostrado na tabela acima, considerou-se a metade do tempo de viagem de cada linha, acrescido de um tempo de troca no terminal.

Tempo na simulação do caminho ótimo (1ª simulação)

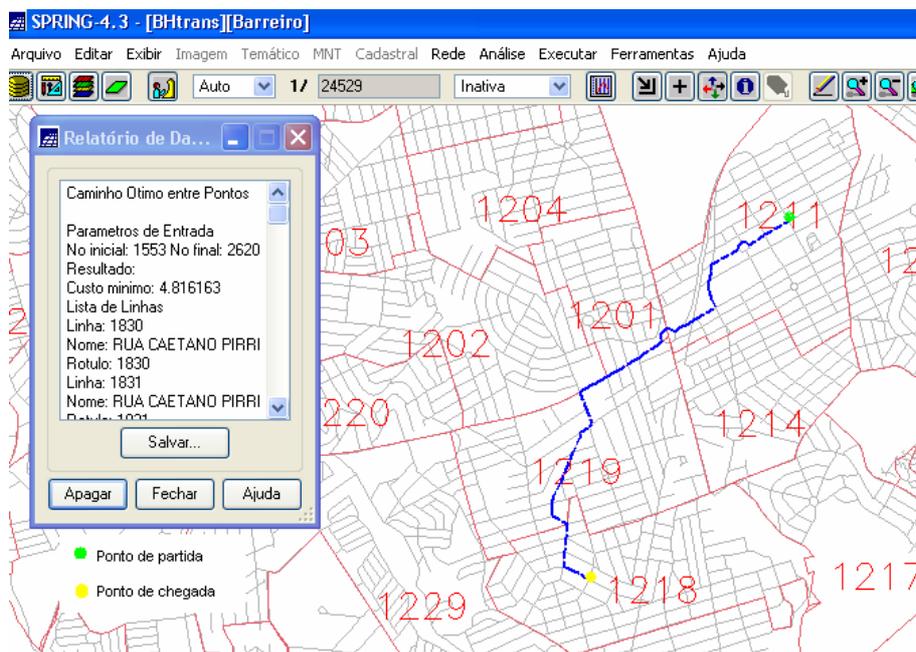


Figura. 26: Geração de viagem - 1211 gera para 1218 (manhã)

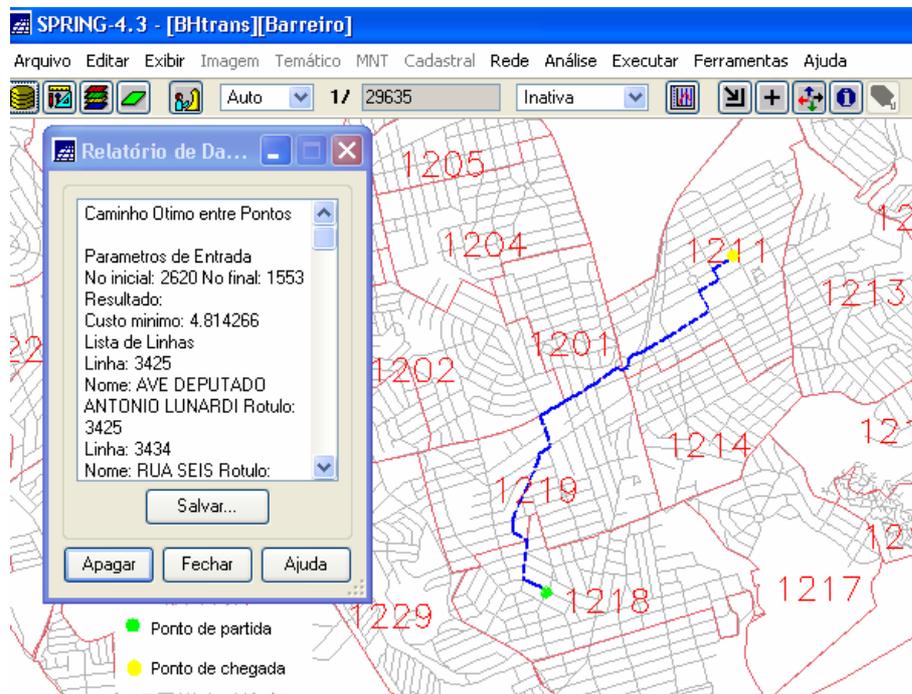


Figura. 27: Atração de viagem - 1211 atrai de 1218 (tarde)

TEMPO ESTIMADO - SIMULAÇÃO DE ROTA (PICO MANHÃ)

Variáveis	Unid	Quant	Fórmula	TV (min)
Embarque	3 seg/pass	70 pass	(3 x 70)/60	3,5
Des/Aceleração	24 seg/PED	10 PED	(24 x 10)/60	4
Rota proposta "Spring"				4,81
Tempo Viagem				12,31

TEMPO ESTIMADO - SIMULAÇÃO DE ROTA (PICO TARDE)

Variáveis	Unid	Quant	Fórmula	TV (min)
Embarque	3 seg/pass	70 pass	(3 x 70)/60	3,5
Des/Aceleração	24 seg/PED	10 PED	(24 x 10)/60	4
Rota proposta "Spring"				4,81
Tempo Viagem				12,31

Como pode ser observado, o tempo necessário para realizar o deslocamento entre as áreas 1211 e 1218, tanto no pico da manhã quanto no pico da tarde, é bem inferior ao do sistema atual, significando assim ganho para o usuário do sistema de transporte da região.

2ª SIMULAÇÃO**Tempo gasto no atual sistema**

Troca da área homogênea 1211 (Milionários) com a 1229 (Petrópolis/Vila Santa Cecília).

LINHA	TV-1	TERMINAL	TV-2	TERMINAL	TV-3	TOTAL
332	36 min					
		10 min				
3350			30 min			
				10 min		
302/303					22	59 min

Fonte: BHTRANS

Tv-1 = tempo da 1ª viagem

Tv-2 = tempo da 2ª viagem

Tv-3 = tempo da 3ª viagem

De forma a realizar o deslocamento entre as áreas desta 2ª simulação, o usuário terá que utilizar uma linha até a Estação Barreiro, fazendo a troca para outra linha com destino à Estação Diamante e nesta embarcar para a linha que faz o atendimento ao bairro Petrópolis/Vila Cecília (linhas 302 e 302), uma segunda opção seria fazer um caminhamento pé de aproximadamente 600 metros até a Estação Ponto (Via do Minério - Milionários) para assim utilizar uma linha até a Estação Diamante e posteriormente embarcar nas linhas citadas acima, sendo que esta opção poderá representar um menor tempo para chegar ao destino final.

Tempo na simulação do caminho ótimo (2ª simulação)

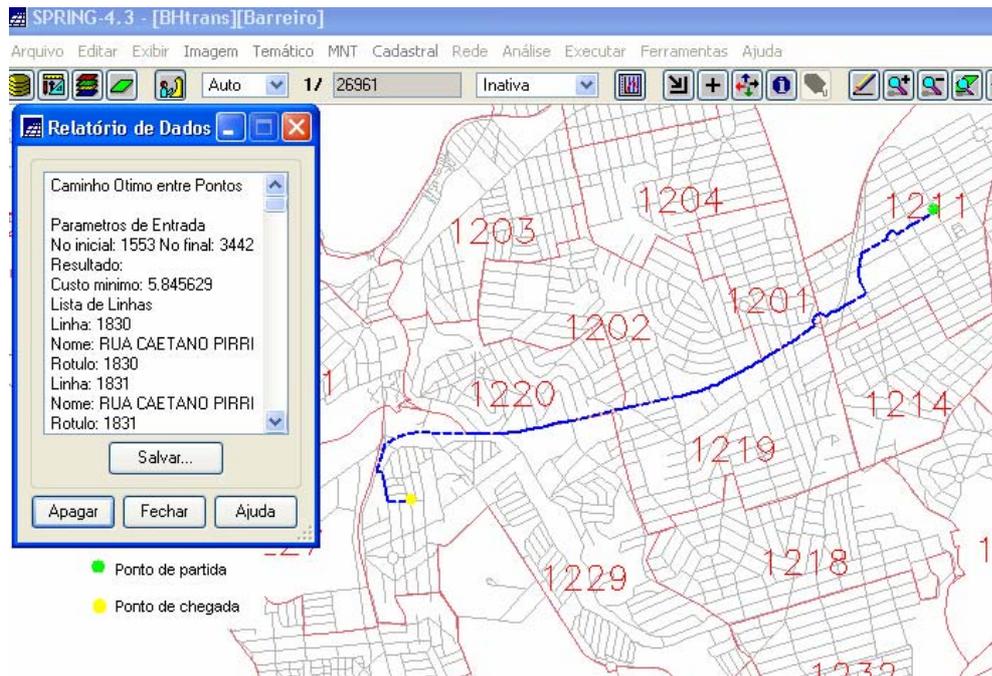


Figura. 28: Geração de viagem - 1211 gera para 1229 (manhã)

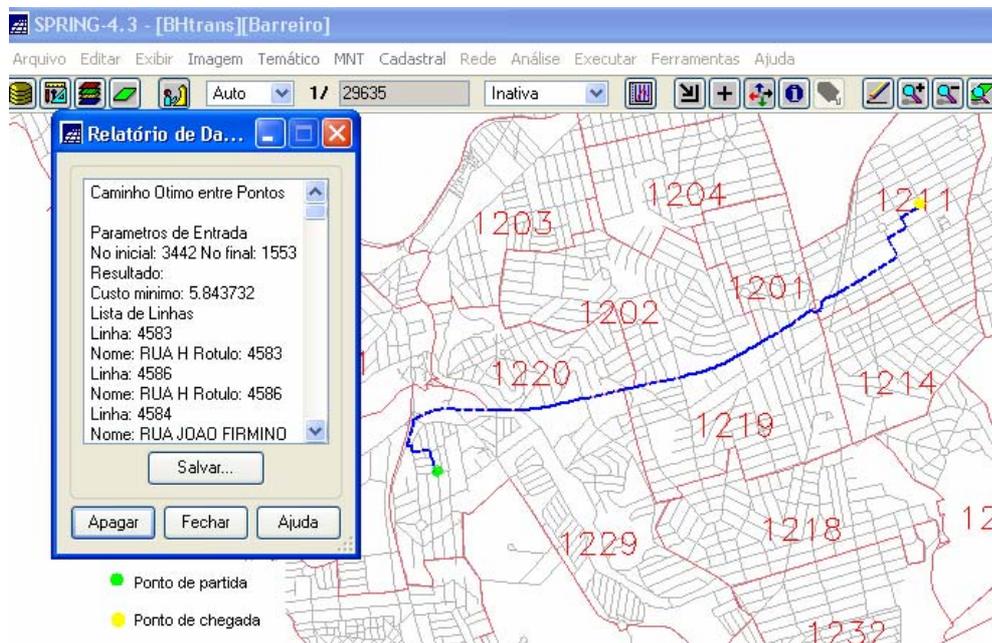


Figura. 29: Atração de viagem - 1211 atrai de 1229 (tarde)

TEMPO ESTIMADO - SIMULAÇÃO DE ROTA (PICO MANHÃ)				
Variáveis	Unid	Quant	Fórmula	TV (min)
Embarque	3 seg/pass	70 pass	$(3 \times 70)/60$	3,5
Des/Aceleração	24 seg/PED	15 PED	$(24 \times 15)/60$	6
Rota proposta "Spring"				5,84
Tempo Viagem				15,34

TEMPO ESTIMADO - SIMULAÇÃO DE ROTA (PICO TARDE)				
Variáveis	Unid	Quant	Fórmula	TV (min)
Embarque	3 seg/pass	70 pass	$(3 \times 70)/60$	3,5
Des/Aceleração	24 seg/PED	15 PED	$(24 \times 15)/60$	6
Rota proposta "Spring"				5,84
Tempo Viagem				15,34

A segunda simulação também mostra que o caminho construído pela ferramenta custo mínimo (Spring), permite realizar o deslocamento entre as áreas de estudo, com menor tempo de viagem.

3ª SIMULAÇÃO

Tempo gasto no atual sistema

Troca da área homogênea 1211 (Milionários) com a 1203 (Colina Maldonado).

LINHA	TV-1	TERMINAL	TV-2	TOTAL
332	36 min			
		10 min		
315			20 min	28 min

Fonte: BHTRANS

Tv-1 = tempo da 1ª viagem

Tv-2 = tempo da 2ª viagem

O mapa da figura 25 mostra que a troca entre as áreas 1211 e 1203 é feita utilizando duas linhas alimentadoras, sendo necessário a troca de linhas no interior da Estação Barreiro, sendo gasto um tempo de 28 minutos para completar a viagem até o destino final.

Tempo na simulação do caminho ótimo (3ª simulação)

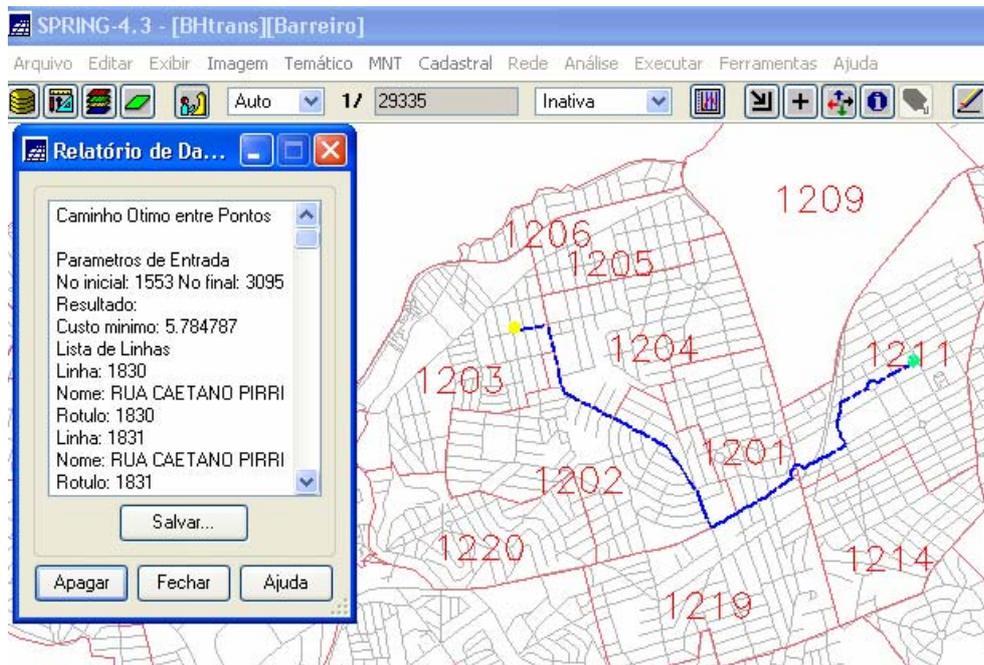


Figura. 30: Geração viagem - 1211 para 1203 (manhã)

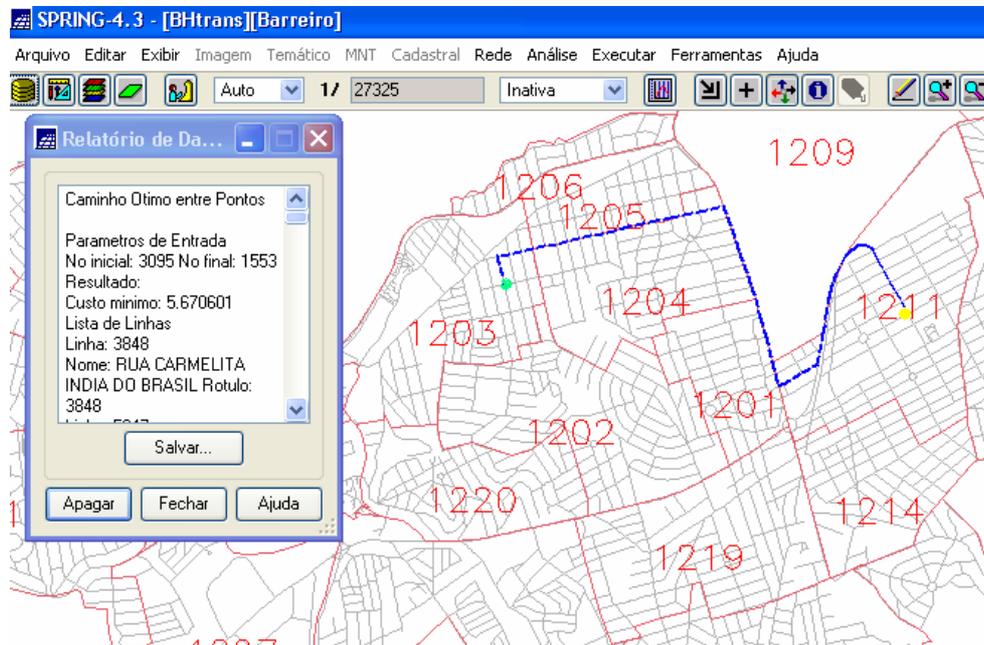


Figura. 31: Atração viagem - 1211 atrai de 1203 (tarde)

TEMPO ESTIMADO - SIMULAÇÃO DE ROTA (PICO MANHÃ)				
Variáveis	Unid	Quant	Fórmula	TV (min)
Embarque	3 seg/pass	70 pass	$(3 \times 70)/60$	3,5
Des/Aceleração	24 seg/PED	14 PED	$(24 \times 14)/60$	5,6
Rota proposta "Spring"				5,9
Tempo Viagem				15

TEMPO ESTIMADO - SIMULAÇÃO DE ROTA (PICO TARDE)				
Variáveis	Unid	Quant	Fórmula	TV (min)
Embarque	3 seg/pass	70 pass	$(3 \times 70)/60$	3,5
Des/Aceleração	24 seg/PED	15 PED	$(24 \times 15)/60$	6
Rota proposta "Spring"				5,9
Tempo Viagem				15,4

Também para 3ª simulação, podemos observar um tempo menor para realizar a viagem de uma área até a outra, embora a diferença entre as duas situações não seja tão expressiva.

Para o estabelecimento das rotas foram selecionados dois pontos: um de partida e um de destino, sendo estes escolhidos de forma aleatória. A funcionalidade do programa conseguiu determinar o melhor caminho para as três situações demonstradas.

Nas simulações apresentadas nas figuras anteriores, levou-se em consideração para cálculo da impedância não somente a simples distância entre os pontos da rede, mas outros fatores, tais como tipo de pavimentação, tipo de via e UVP. Na representação da rota foi levada em conta a distância-tempo calculada.

Um detalhe relevante neste estudo, é que a distância-tempo não deve ser confundida como uma simples divisão de distância sobre velocidade. Ao produzir rotas devemos levar em consideração a distância-tempo e o tempo propriamente dito.

Os resultados obtidos, analisados segundo a aplicabilidade do geoprocessamento como instrumento de suporte à decisão no planejamento do transporte coletivo, indica rotas que permite ao usuário do transporte coletivo da região realizar os deslocamentos pretendidos com um menor tempo de viagem.

7. CONCLUSÃO

O SIG é uma ferramenta importante para o planejamento urbano, visto que tem como objetivo o armazenamento, a recuperação e a realização de análises espaciais entre as informações disponíveis, com rapidez e confiabilidade.

Entretanto uma ferramenta de trabalho só se torna útil, quando conta com pessoas habilitadas para a sua utilização. Antes de se implantar um SIG, deve-se conhecer quais informações são importantes para cada setor, sendo a experiência dos profissionais envolvidos, de grande importância, para que sejam planejadas todas as relações possíveis entre as informações.

Conhecer bem um SIG e todas as suas etapas de implantação é fundamental para se atingir os objetivos propostos, entretanto deve-se conhecer toda a estrutura e finalidade das informações que serão utilizadas. O Software escolhido por si só não determina se um SIG será eficiente ou não, muito menos um Hardware de última geração fará com que todos os problemas sejam solucionados. Um SIG eficiente deve possuir um conjunto de equipamentos aliado a uma equipe de profissionais capacitados a operá-lo de forma a agilizar todas as etapas de implantação e customização.

É importante lembrar que um SIG é um processo contínuo de implantação, atualização e realização de pesquisas para elaboração de relatórios gerenciais. Em muitos casos, se vê uma estrutura ser montada para a implantação de um SIG e ao final este não ser utilizado, seja por mudanças políticas, pela falta de continuidade dos técnicos envolvidos ou pela dificuldade de manter o mesmo atualizado.

A principal contribuição deste trabalho é mostrar a possibilidade de se empregar variáveis diversas em modelos sistêmicos, com o propósito de realizar simulações de transportes. Vale ressaltar que cabe ao gestor do sistema de transporte escolher as variáveis que melhor representam sua realidade ou costume, trazendo ao modelo sua percepção e sua prática, lembrando sempre que tais análises devem estar em permanente adaptação à realidade local.

Com base no estudo é possível afirmar que:

- Software SPRING apresentou interface amigável para a entrada e para a edição de dados;
- Os trajetos sugeridos pelo SIG, por meio do método proposto, apresentaram diferenças significativas no tempo de viagem em comparação ao atual sistema de transporte atual.
- Embora a ferramenta utilizada para simulação de caminhos ótimos, tenha apresentado a possibilidade de trajeto com menor tempo de viagem, para torna-la realmente eficiente para trabalhar com rede de transporte coletivo, deve-se introduzir pontos intermediários obrigatórios, considerando a necessidade da linha passar pelos principais pólos de atração de viagens da região que se planeja atender, bem como propiciar uma cobertura satisfatória das áreas habilitadas, o que não acontece no caso da rota traçada nas simulações apresentadas, onde são definidos ponto de partida e de chegada e software traça a rota de menor distância sem não entanto considerar os requisitos citados acima.
- Como aplicabilidade da ferramenta utilizada neste trabalho, consideramos que será muito útil para definição de rota mínima (quilometragem improdutiva), onde é definido o menor caminho entre a garagem e o ponto de início das viagens. A remuneração de quilometragem improdutiva é um dos itens considerados na planilha de custos utilizados pela BHTRANS quando da apuração dos custos do sistema de transporte coletivo.
- Na aplicação para o transporte coletivo, é aconselhável a associação de outras variáveis, tais como declividade e largura da via e interseções semaforizadas, o que possibilitará um maior acerto para otimização das rotas.

8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRUTON J, Michael. **Introdução ao Planejamento dos Transportes**. São Paulo, 1979.

CAMPOS FILHO, C. M. (1992). **Cidades brasileiras: seu controle ou o caos: o que as cidades devem fazer para a humanização das cidades no Brasil**. 2.ed. São Paulo: Studio Nobel.

DAVIS JÚNIOR, Clodoveu Augusto. **Aumentando a eficiência da solução de problemas de caminho mínimo em SIG**. 15f.

FREITAS, Christian Rezende. **Construção e Aplicação de Modelo de Rede em Ouro Preto: Utilização de Fatores Ambientais e Logísticos no Cálculo de Impedâncias**. Monografia (Especialização)-Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2003.

GADRET, H.J. **Transporte Superfunção urbana**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1969.

MINAS GERAIS. Fundação João Pinheiro . **Relatório consolidado pesquisa origem e destino 2001-2002**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, [2004]. v.1.

MINAS GERAIS. Fundação João Pinheiro . **Relatório consolidado pesquisa origem e destino 2001-2002**. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro, [2004]. v. 2.

NAPIERALA, Hieronim, **Um modelo de otimização de redes troncais de transporte público urbano de passageiros** - Tese de doutorado UFSC, Florianópolis - 2004. 220p.

SILVA, Domingos Fernando Peixoto da. **Sistema de informação geográfica para transportes** : uma aplicação aos transportes urbanos de Guimarães. Ano da apresentação 2006. www.isegi.unl.pt/instituto/servicos/sdoc/bdbiblio/documento/tsigo12.pdf. Acesso 03 dez 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistema de Informação Geográfica) – Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova de Lisboa, Ano de defesa 2006.

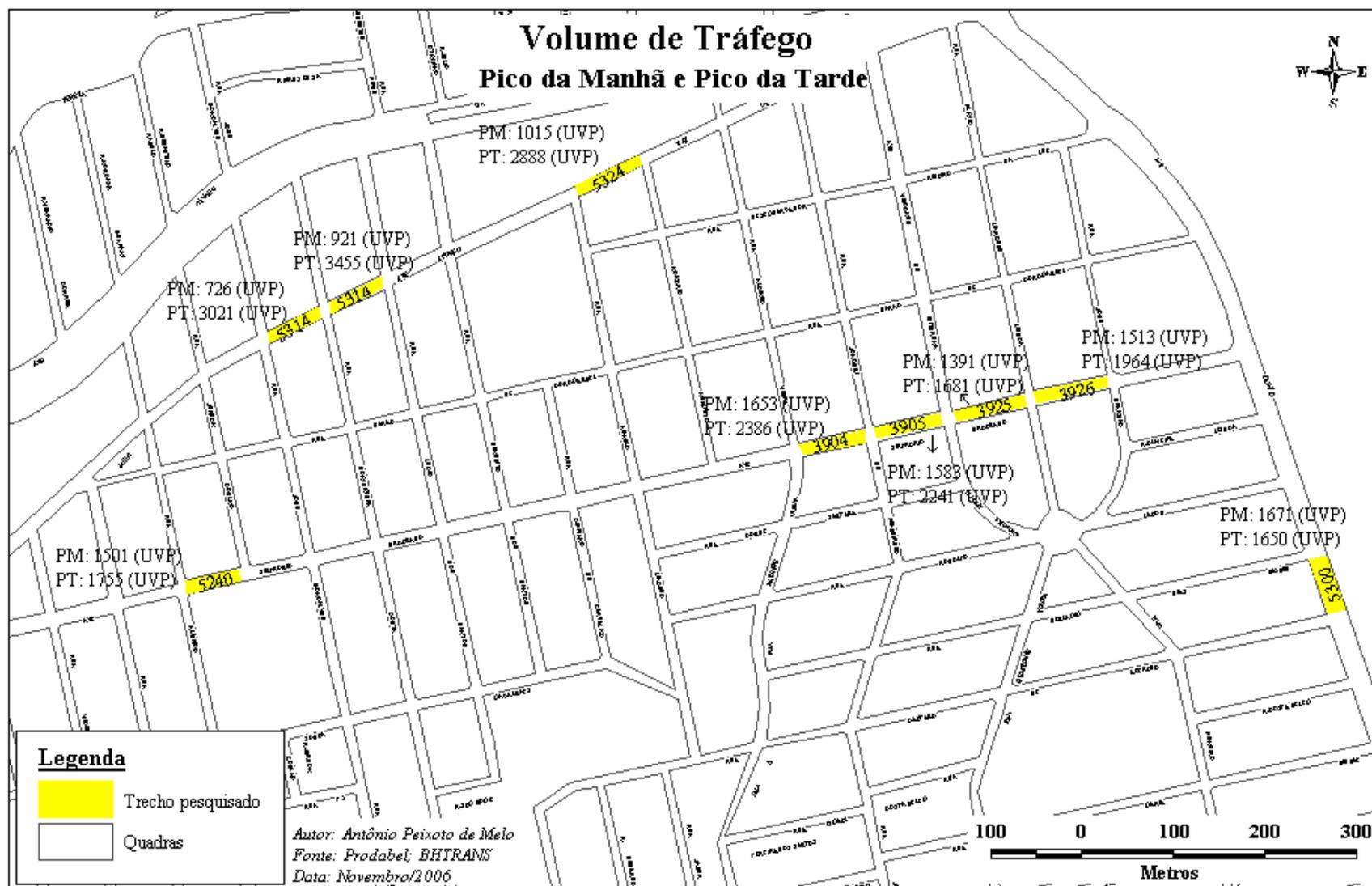
SILVA, A. B. **Sistema de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1999, 235p.

SILVA, Jorge Xavier da. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Ed. Rio de Janeiro RJ - 2001.

ZUPPO, Carlos A.; DAVIS Jr.; C; MEIRELLES, Alexandre A. **Geoprocessamento no sistema de transporte coletivo de trânsito de Belo Horizonte**. Disponível em: [http://www.pbh.gov.br/prodabel/cde/publicações/1996/zuppo 1996.pdf](http://www.pbh.gov.br/prodabel/cde/publicações/1996/zuppo%201996.pdf)

9. ANEXOS

ÁREAS HOMÔGENEAS (BARREIRO) - PESQUISA FJP	
Código	Bairros/ Regiões
1201	Santa Helena
1202	Conjunto Teixeira Dias
1203	Colina Maldonado
1204	Barreiro de Baixo
1205	Barreiro de Baixo (Estação BHBus - Barreiro)
1206	Santa Margarida
1207	Bairro das Indústrias
1208	Bairro Novo das Indústrias
1209	Mannesmann
1210	Adalberto Pinheiro
1211	Milionários
1212	Júlia Kubstchek (Sanatório E. Menezes)
1213	Nosso Lar S. Joaquim Chac. Reunidas
1214	Araguaia
1215	Olhos D'agua/ Pilar
1216	Favela da CEMIG
1217	Parque Flávio Marques Lisboa
1218	Brasil Ind. Vila Sales/ Conj. G. Vargas
1219	Miramar Resplendor (Estação BHBus - Diamante)
1220	Teixeira Dias Olária
1221	Bairro Tirol
1222	Conj. Túnel do Ibité/ Conjunto Tirol
1223	Lindéia
1224	Industrial 4ª Seção
1225	Jatoba Marilândia
1226	Distrito Industrial - Jatoba (parte A)
1227	Distrito Industrial - Jatoba (parte B)
1228	Vale do Jatoba - área habitacional do DI
1229	Petropolis/ Vila Santa Cecília
1230	Independência 1ª Seção
1231	Independência Mineirão
1232	Solar do Barreiro / Parque N. Esperança/ S.Cecília
1233	Vazio do Ramal - Águas Claras/ Rural



MATRIZ ORIGEM E DESTINO (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO - 2001) FAIXA HORÁRIA 06:00 às 07:59

O/D	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	Total
1201	91					46																			33						170
1202		171	45	140	62														48									55			520
1203			143	51						66												51									310
1204			36																				36								72
1205																	23			44		26									92
1206							11	15					13				36		21							11					107
1207			31				31								29																91
1208					27			30					36								26										119
1210					45			45		58		58				44			51												302
1211			181	90						269	51					180										66	315				1152
1212		48								108	54							54													263
1213					181	105	81			256				90			76	54	76												865
1214			45					45		77	45							34													246
1215								32					198		77																307
1216										35							75														110
1217								42						33	33	31															139
1218			52	179							61			56				47									44				439
1219				48														84													132
1220					47					47			32														47				174
1221			219	58				58									54														389
1222					88	34																									122
1223			234																78		78										546
1224										62											62		156								124
1225			82	135																142							76				435
1226	35	48		37				37					72			47															276
1227																		17							20	16	20				73
1228					75					115	64			57				203								57		149	54		775
1229	73		77		87									85																	475
1230			189					38									40					40									397
1231				62														59	62												184
1232					61	47		60	44	61						122											61			44	500
1233													86			17							69	17		69	17				311
Total	200	267	1334	799	647	259	123	402	106	1092	275	58	118	641	33	500	428	135	675	283	88	76	232	69	70	219	785	55	149	98	10216

MATRIZ ORIGEM E DESTINO (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO - 2001) FAIXA HORÁRIA 17:00 às 18:59

O/D	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	Total
1201	46																								35			74			61		216	
1202		61		37																													98	
1203			65						2		181			90						42	61	116						65		52			752	
1204			66			14		31								42	73	42						207		15	100						706	
1205			65					31		138			92			42	42			61	54			62		70	65			61			783	
1206			66				24	21															39						65	53			268	
1208						13																											13	
1209		61				13								45						29				62						60			385	
1210						59		33													54												146	
1211	28										232		231	44		42		90												81			748	
1212											79	61	63	45							29												277	
1214														88										74				74					236	
1215						13						61			99	48										63			73				357	
1217											133																						191	
1218			57	53							332			45														45			122	69	723	
1219				13	20	15										42					44			78					88	46		17	363	
1220		61														42		45															148	
1221			58	58						55			126							49	58			78	82			45		31			640	
1222							40													26													110	
1223									3															62									65	
1224			118																														118	
1225						15						52																					67	
1226																															52		52	
1227	34			20																					82								156	
1228					18																						12						88	
1229											234		74													76	18	65			36	35	538	
1230		108																							31								139	
1231																				71													71	
1232			36																												36		114	
Total	108	291	531	181	38	142	64	116	5	193	1191	174	586	357	99	216	84	208	391	169	585	83	234	186	552	168	45	285	409	129	146	429	173	8568