Campus de São Carlos

**CONTRIBUIÇÃO À RACIONALIZAÇÃO DO SISTEMA
DE TRANSPORTE POR TÁXI**

LUZENIRA ALVES BRASILEIRO

ORIENTADOR: PROF. DR. EIJI KAWAMOTO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES

***CONTRIBUIÇÃO À RACIONALIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DO
SISTEMA DE TRANSPORTE POR TÁXI***

LUZENIRA ALVES BRASILEIRO

Orientador: Prof. Dr. Eiji Kawamoto

DEDALUS - Acervo - EESC

31100016540

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Transportes.

SÃO CARLOS - SP

MARÇO/1995

Class.	TESE
Curr.	0969
Tombo	048/95

Transportes

st 0742092

"Isso é o aprendizado. De súbito
você compreende algo que havia
percebido a vida inteira, mas de
maneira nova."

Doris Lessing

(Escritora inglesa)

*Aos meus pais, meus irmãos e a
todos que lidam com transporte
por táxi.*

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao meu orientador inicial, Antônio Clóvis Pinto Ferraz.

Ao meu orientador atual, Eiji Kawamoto.

Aos professores do STT, em especial:

Alexandre Benetti Parreira

Antônio Néelson Rodrigues da Silva/Léa Cristina

Edson Martins de Aguiar

João Alexandre Widmer

José Bernardes Felex

José Reynaldo Anselmo Setti.

Aos funcionários do STT, em especial:

Antônio Carlos Mariano

Gisélia Soares Tavares

Heloísa Helena Morgado Belo

Nelson Ferreira França.

Aos colegas do STT, em especial:

Adriana Guasti Xavier

Ana Maria Guerra Seráfico de Assis Carvalho

Eliane Viviani

Eloy Ferraz Machado Neto

Glauco Pontes Filho

John Kennedy/Ramonildes

Mírian Ellen de Freitas

Renata Algisi

Roberto Toshimitso Aramaki

Sandra Oda

Sérgio Henrique Demarchi

Sérgio Henrique Motta

Vânia Maria Pessoa Pampolha

Aos professores do ICMSC, em especial:

Marcos José Santana

Maria Creusa Bretas Salles

Regina Helena C. Santana

A EMDURB - Empresa municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru.

Aos motoristas de táxi da cidade de Bauru.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	I
LISTA DE QUADROS.....	II
LISTA DE TABELAS.....	III
RESUMO.....	IV
ABSTRACT.....	V
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações Gerais.....	1
1.2. Definição do Problema.....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.4. Método Adotado.....	6
1.5. Estrutura do Trabalho.....	7
2. SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE TÁXI.....	10
2.1. Considerações Gerais.....	10
2.2. Sistema de Transporte por Táxi.....	12
2.3. Táxi com Viagem Partilhada - Táxi Lotação.....	15
2.4. Táxi com Viagem Exclusiva.....	18
2.5. Modelagem do Sistema de Táxi e outros Paratrânsitos.....	23
2.6. Modelo de Simulação.....	28
3. MODELO PROPOSTO.....	34
3.1. Considerações Gerais.....	34
3.2. Simulador de Demanda.....	35
3.3. Simulador de Oferta.....	54
3.4. Banco de Dados.....	71
4. ESTUDO DE CASO.....	75
4.1. Considerações Gerais.....	75
4.2. Método Aplicado na Coleta de Dados.....	76
4.3. O Sistema de Táxis em Bauru.....	77
4.4. Apresentação dos Resultados da Simulação.....	91
4.5. Avaliação Econômica entre as Alternativas de Oferta de Táxi.....	99
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	112
5.1. Conclusões.....	112
5.2. Recomendações.....	118
5.3. Sugestões.....	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121
BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS.....	127
APÊNDICE I - Técnicas para Gerar Números Aleatórios.....	133
APÊNDICE II - Técnicas para Gerar Variáveis Aleatórias.....	139
APÊNDICE III - Programa para Demanda e Pontos Privativos.....	145
APÊNDICE IV - Programa Computacional para Oferta com Pontos Livres.....	165
APÊNDICE V - Programa para Alternativa com Rádio Táxi.....	184

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Curva hipotética de chegada de usuários.....	42
Figura 3.2 - Curva hipotética de frequência observada de chegadas.....	43
Figura 3.3 - Matriz hipotética do número de viagens entre zonas de tráfego.....	47
Figura 3.4 - Matriz hipotética de origem-destino da probabilidade acumulada da distribuição de viagens.....	48
Figura 3.5 - Curva hipotética observada de destinos para viagens geradas numa zona de tráfego <i>i</i>	49
Figura 3.6 - Fluxograma do simulador de demanda.....	53
Figura 3.7 - Fluxograma do simulador de oferta para ponto privativo.....	60
Figura 3.8 - Fluxograma do simulador de oferta para ponto livre.....	65
Figura 3.9 - Fluxograma do simulador de oferta para rádio táxi.....	70
Figura 3.10 - Formulário de pesquisa pelos motoristas.....	72
Figura 4.1 - Cidade de Bauru, subdividida em 20 zonas de tráfego.....	77
Figura 4.2 - Variação horária da demanda total de viagens por táxi na cidade de Bauru.....	80
Figura 4.3 - Chegada acumulada de usuários de táxi aos pontos na cidade de Bauru.....	81
Figura 4.4 - Distribuição de frequência dos tempos médios de viagem entre as ligações 1/13, 1/14 e 14/13 na cidade de Bauru.....	85
Figura 4.5 - Distribuição de valores da velocidade operacional de viagem por táxi em Bauru	87
Figura 4.6 - Distribuição de valores da velocidade operacional de viagem por táxi entre as zonas de tráfego 1/13, 1/14 e 14/13.....	88
Figura 4.7 - Quilometragens e custos médios para as 3 alternativas de oferta de táxi.....	104
Figura 4.8 - Valores de espera dos usuários e veículos em relação à frota total reduzida para a operação com pontos livres.....	107
Figura 4.9 - Valores de espera dos usuários e veículos em relação à frota total reduzida para a alternativa de operação com rádio táxi.....	110
Figura 4.10 - Valores de quilometragem e custos médios mensais para as três alternativas de oferta consideradas.....	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Distribuição dos pontos de táxi na cidade de Bauru.....	78
Quadro 4.2 - Distribuição percentual das formas de solicitação das viagens por táxi em Bauru.....	78
Quadro 4.3 - Valores horários do número de viagens por táxi ao longo do dia.....	79
Quadro 4.4 - Frequência de valores da velocidade operacional.....	87
Quadro 4.5 - Distribuição de quilometragem média diária percorrida.....	90
Quadro 4.6 - Distribuição do período de maior deslocamento dos passageiros de táxi.....	90
Quadro 4.7 - Distribuição do dia da semana de maior movimento do sistema de táxi.....	90
Quadro 4.8 - Número total de viagens/dia para as 10 simulações.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Origem e destino das viagens por táxi em Bauru.....	82
Tabela 4.2 - Tempo médio de viagem redonda (ida + volta), em minutos.....	84
Tabela 4.3 - Média da chegada de viagens das 5 simulações.....	91
Tabela 4.4 - Desvio padrão do número de chegada de viagens das 5 simulações.....	92
Tabela 4.5 - Distâncias médias de viagem obtidas através da simulação com pontos privativos.....	92
Tabela 4.6 - Distâncias médias de viagem obtidas através da simulação com pontos livres.....	96
Tabela 4.7 - Distâncias médias de viagem obtidas através da simulação com rádio táxi.....	96
Tabela 4.8 - Valores obtidos e calculados para as 3 alternativas de oferta.....	99
Tabela 4.9 - Custos variáveis mensais médios das 5 simulações.....	100
Tabela 4.10 - Custos totais mensais médios das 5 simulações.....	103
Tabela 4.11 - Valores das reduções de frota para a alternativa com pontos livres..	105
Tabela 4.12 - Valores de esperas e de custos para a alternativa com pontos livres.	106
Tabela 4.13 - Economias de custo com redução da frota total para pontos livres...	106
Tabela 4.14 - Valores das reduções de frota para a alternativa com rádio táxi.....	108
Tabela 4.15 - Valores de esperas e de custos para a alternativa com rádio táxi.....	108
Tabela 4.16 - Economias de custo com redução da frota para a alternativa com rádio táxi.....	109

RESUMO

BRASILEIRO, Luzenira Alves (1995). *Contribuição à Racionalização da Operação do Sistema de Transporte por Táxi*. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 200p.

Desenvolve-se, neste trabalho, um modelo de simulação estocástica para o sistema de transporte por táxi com viagens exclusivas. Basicamente, o modelo simula a geração da demanda pelo serviço e as formas alternativas de oferta: ponto privativo, ponto livre e rádio táxi. A validação do modelo é realizada através da comparação entre o sistema de táxi observado na cidade de Bauru (SP) e o sistema simulado através da aplicação do modelo. A comparação é feita para a alternativa de oferta com pontos privativos, a única existente na cidade. Os resultados indicam que o modelo de simulação proposto reproduz bem a demanda e a oferta de viagens por táxi em cidades de porte médio. Apresenta-se, além disso, uma análise comparativa das simulações realizadas para as duas outras alternativas fictícias de operação na cidade de Bauru (SP); os resultados destas, quando comparados aos da situação existente, mostram uma significativa economia nos custos variáveis. Conclui-se que o modelo pode constituir-se num instrumento de análise e avaliação das diferentes políticas de operação de táxi e apontar a mais adequada para uma determinada cidade de porte médio.

Palavras-chave: Simulação estocástica; Táxi; Viagens exclusivas; Demanda; Oferta.

ABSTRACT

BRASILEIRO, Luzenira Alves. *Contribution to Rationation of the Operation of Taxi Transportation System*. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 200p.

In this work, a stochastic simulation model for the exclusive-ride taxi system is developed. The model simulates the demand generation for taxi service and the alternative forms of service supply: private pickup point, free pickup point, and radio-taxi. The model validation is carried out by comparing the taxi system observed in Bauru (SP) with that simulated using data set collected in it. The comparison is concerning to the operation with private pickup point because in Bauru there is only this type of operation. The results indicate that the proposed simulation model reproduces adequately the taxi demand and supply in medium sized cities. It is also presented a comparative analysis between existent system and other operation systems simulated. The analysis shows that a significative cost saving is obtained if the operation system is changed in Bauru. It is concluded that the proposed model may constitute an important tool to analyze and evaluate the different operational policy and indicate the most adequate one for the medium sized cities.

Keywords: Stochastic simulation; Taxi; Exclusive-ride; Demand; Supply.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A dispersão de atividades aumenta com o crescimento das cidades. Em virtude disto, a população urbana se torna dependente do transporte para realizar as atividades básicas diárias, tais como trabalhar, estudar, fazer compras, lazer, etc. Assim, essas atividades geram viagens urbanas com características específicas de horários, mas com diferentes itinerários e através de modos diferentes de transporte. Então, o meio em que o transporte toma lugar influencia o tipo de veículo a ser usado. Portanto, o veículo, juntamente com seu meio de locomoção, é referido como o modo de transporte.

Nesse sentido, LAGASSE III (1986) identifica três segmentos principais dentro da atividade de transporte, que são: privado, semi-público e público. O transporte privado inclui o modo a pé, bicicleta, motocicleta, automóvel e assim por diante. O transporte semi-público inclui carro de aluguel, "carpool", "vanpool", ônibus contratado, "dial-a-ride", "jitney" e táxi. O transporte público é constituído pelos modos ônibus, bonde, pré-metrô, metrô e trem de subúrbio.

O transporte semi-público apresenta características que o situa entre os modos de transporte privado e público. Mas, cada tipo de transporte semi-público tem suas características peculiares e necessidades operacionais próprias, dependendo da atividade e do cenário em que está localizado. Então, VUCHIC (1981) dividiu os meios de transporte semi-público em três grupos da seguinte forma: (1) transporte particular com uso modificado - carro de aluguel e "carpool"; (2) transporte contratado - "vanpool" e ônibus contratado e; (3) transporte regular flexível - "dial-a-ride", "jitney" e táxi.

O serviço de carro de aluguel opera com mais intensidade em cidades turísticas e cidades de grande porte. O "carpool" é a utilização do automóvel por um grupo de pessoas e, é denominado no Brasil, de transporte solidário. Um "vanpool" é definido como um grupo de oito ou mais pessoas que usam um veículo do tipo perua para seus transportes diário de residência para o trabalho e vice-versa. O ônibus contratado é o transporte regular fornecido por entidades individuais, tais como empresas, escolas, etc., geralmente ligando um centro de trabalho/escola a uma área residencial. O "dial-a-ride" é o modo de transporte programado por telefone, este sistema não existe no Brasil. O "jitney" se assemelha ao serviço de ônibus convencional com rota fixa, exceto que os passageiros podem embarcar e desembarcar em qualquer lugar ao longo da rota. O táxi é um automóvel padrão ou veículo especialmente projetado, operado por um motorista profissional, para transportar um ou mais passageiros em viagens particulares.

Uma das características dos táxis é a flexibilidade, tanto no espaço quanto no tempo. Assim, este tipo de semi-público pode servir mercados para os quais o serviço de transporte público convencional não está disponível ou se torna excessivamente dispendioso. Pois, serviços semi-públicos com rotas e horários flexíveis são considerados, segundo BATCHELDER and KULLMAN, WARD and PAULHUS e

OECD (apud CHANG, 1991), mais adequados para áreas suburbanas com baixas densidades de demanda por transporte.

Os táxis têm assumido posição importante no processo de escolha modal em virtude do crescente consumo de energia, congestionamento de trânsito, poluição atmosférica e das desvantagens conseqüentes da ocupação do automóvel por uma única pessoa. Para NICHOLS (1976), a crescente necessidade de transporte do conjunto pessoas e materiais criou uma demanda por serviços especializados, que somente podem ser encontrados eficientemente nas várias formas de semi-público, com sua inerente flexibilidade. Assim, os principais impactos de serviços semi-públicos, segundo ZIEGLER (1977), são os seguintes: (1) mobilidade para pessoas permanentemente ou temporariamente sem acesso a automóveis particulares ou serviço de transporte público; (2) redução do custo total de transporte para pessoas que viajam diariamente a trabalho entre dois municípios e; (3) redução de congestionamento e da necessidade de estacionamento em centros de atividades.

O atual declínio do transporte com rotas e horários fixos em áreas que apresentam viagens mais dispersas, o reconhecimento do papel dos táxis e o crescimento de semi-público têm proporcionado um forte interesse em integrar transporte convencional e semi-público (ZIEGLER, 1977). Da mesma forma, para SOBEL and ALSCHULER (1980), o planejamento de serviço semi-público não deve ser visto como uma atividade ou processo separado e distinto de outras atividades do planejamento de transporte. Portanto, o processo de planejamento do sistema de táxi deve ser realizado, na medida do possível, em integração lógica com outras atividades de planejamento de transporte.

O táxi é o transporte semi-público mais comum no Brasil, ele pode operar com viagens partilhada ou exclusiva. Mas, apesar do táxi existir na grande maioria das cidades brasileiras, este tipo de transporte é deficitário em se tratando do equilíbrio oferta-demanda e, é pouco pesquisado. Este fato conduz a implementação de

alternativas, por parte das autoridades competentes do setor, do tipo regras práticas. Isto provoca irracionalidade no serviço de táxi. Por esta razão, este trabalho trata de um modelo de simulação estocástica para o sistema de transporte por táxi com viagens exclusivas, que, por sua vez, é o serviço de táxi mais comum no Brasil, nas suas diferentes formas de operação.

1.2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O sistema de transporte por táxi, em grande parte das cidades brasileiras de porte médio, é deficiente em virtude da irracionalidade operacional. De um lado, tem-se veículo ocioso, de outro lado, tem-se usuário sem o serviço. Com isso as tarifas são altas e a demanda reprimida, impedindo o acesso de um número maior de pessoas ao serviço.

O custo do serviço de táxi para o usuário é um fator preponderante quando se trata da possibilidade de utilização do sistema. Tal custo para o usuário é consequência do tipo de oferta do serviço à comunidade. Assim, este custo é função das distâncias de viagem ociosa do táxi para apanhar o usuário e retornar ao ponto de origem e, da distância de viagem do táxi com o usuário.

O tipo de oferta para o sistema de táxi de cada cidade deve ser escolhido de acordo com as características da demanda do serviço de táxi local, com as configurações geométricas da cidade, com o tipo de atividade desenvolvida em cada zona de tráfego e com outros fatores.

Contudo, a política de decisão da escolha para o tipo de oferta do serviço de táxi ainda não é feita com base em dados reais das características da demanda pelo serviço. Muitas vezes, a escolha do tipo de oferta se dá através da adoção do tipo de

oferta da cidade vizinha, que geralmente tem características de demanda, formato da área metropolitana e tipos de atividades desenvolvidas diferentes da cidade em questão.

Este fato é decorrente da inexistência de um indicador que mostre qual o tipo de oferta mais indicado para o serviço de táxi, baseado nas características da demanda. Na revisão bibliográfica realizada até o momento não foi encontrado nenhum método de avaliação das alternativas de oferta para o sistema de transporte por táxi de uma cidade, que servisse de base para a escolha da mais adequada. Em consequência disso, a finalidade deste trabalho é oferecer às entidades representativas do setor um instrumento que forneça subsídios à análise e avaliação das políticas operacionais alternativas, através de um modelo de simulação para o sistema de táxi.

Com a identificação desse problema, o presente trabalho procura contribuir com o gerenciamento de demanda e oferta do transporte urbano de passageiros por táxi, na tentativa de reduzir o congestionamento de tráfego, diminuir o consumo de combustível e, conseqüentemente, diminuir o custo operacional e reduzir a tarifa do serviço de táxi.

1.3. OBJETIVOS

Os objetivos principais deste trabalho são três:

- (1) Desenvolver um modelo para simular a operação do sistema de transporte por táxi, através de tipos alternativos do serviço, de forma a ser utilizado para indicar a alternativa adequada ao sistema de táxi.
- (2) Realizar um estudo de caso para ilustrar a aplicação do modelo desenvolvido.

- (3) Fazer a validação do modelo através de uma análise comparativa entre os dados reais do estudo de caso e os dados obtidos através do modelo de simulação desenvolvido.

1.4. MÉTODO ADOTADO

O método adotado neste trabalho segue o pensamento de Hempel (apud KAWAMOTO, 1994b), ou seja, o "método da hipótese", em que se cria hipótese como tentativa de resposta ao problema em estudo e a submete à verificação empírica.

Neste trabalho, a fase de criação corresponde ao desenvolvimento do modelo para simulação do sistema de transporte por táxi, enfocando o surgimento da demanda pelo serviço. Para a realização desta fase, foi necessário, inicialmente, conhecer as diferentes modalidades de transporte semi-público, formas operacionais do serviço de táxi e problemas presentes no desempenho dos sistemas existentes de táxi, através de pesquisa bibliográfica e contatos com técnicos, autoridades e profissionais do setor. Posteriormente, tornou-se possível desenvolver o modelo apto para simular a demanda por táxi e, conseqüentemente, com os dados gerados de demanda, simular os tipos de alternativa considerados para o serviço de oferta do sistema.

Por outro lado, a verificação empírica foi realizada através da comparação dos dados gerados pelo modelo e os dados observados no sistema real estudado. Para tanto, foi necessário fazer um estudo de caso, através de pesquisa origem-destino das viagens por táxi, feita pelos próprios motoristas, e informações gerais sobre a estrutura urbana. Os dados observados foram processados de forma a se ajustarem

aos arquivos de entrada do modelo computacional. A partir daí, várias simulações foram realizadas para obter os dados gerados através do modelo proposto. Então, uma análise comparativa foi realizada entre os dados observados no sistema real e os dados obtidos através das simulações executadas.

Finalmente, através da simulação de demanda e dos tipos de oferta para o serviço de transporte por táxi, pode-se indicar a alternativa adequada para o sistema. A alternativa adequada é considerada aqui como aquela que apresenta fatores otimizados, tais como tamanho de frota de táxis e quilometragem total percorrida. Assim, o sistema pode operar em condições de equilíbrio entre os interesses das duas classes diretamente envolvidas no mesmo, que são usuários e operadores. Esse equilíbrio é então obtido através da ponderação entre os tempos de espera, tanto do usuário para ser atendido, quanto do motorista para realizar uma viagem, e entre os custos de transporte, tanto do custo do serviço para o usuário, quanto do custo total para o operador.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

A construção do modelo de simulação proposto neste trabalho é realizada através do desenvolvimento de uma seqüência de etapas. Essa seqüência de etapas é mostrada ao longo do trabalho, que por sua vez é escrito através da seguinte estrutura de capítulos:

Capítulo 2 - Sistema de Transporte Por Táxi

Neste capítulo, faz-se as considerações gerais do sistema de transporte por táxi e se mostra as duas formas de operação do serviço de táxi - com

viagens partilhada e exclusiva, descrevendo cada uma delas. Posteriormente são apresentados os modelos desenvolvidos para representar o sistema de táxi e também de outros tipos de semi-público, sendo mostradas ainda generalidades sobre modelo de simulação. Ao mostrar cada um dos segmentos deste capítulo, é incorporada ao texto uma revisão da respectiva literatura, sempre que for conveniente.

Capítulo 3 - Modelo Proposto

Neste capítulo apresenta-se o modelo proposto para o serviço de transporte por táxi com viagem exclusiva. O capítulo é dividido de forma a descrever as etapas realizadas para tornar possível a construção do modelo. Essas etapas são, em ordem sequencial, as seguintes: simulador de demanda, simulador de oferta e banco de dados. Em se tratando do simulador de demanda, o capítulo mostra, em detalhes, as hipóteses adotadas, a descrição deste simulador, incluindo a geração e a distribuição de viagens, e o modelo computacional. Quanto ao simulador de oferta, é descrito o processo das três formas de operação consideradas pelo modelo, definindo as hipóteses adotadas para cada uma das alternativas de oferta. Este capítulo apresenta também as diretrizes para a formação do banco de dados utilizado pelo modelo proposto, que é constituído por cinco arquivos: chegadas, origem-destino, frotas, distâncias e tempos de viagem.

Capítulo 4 - Estudo de Caso

Apresenta-se um estudo de caso realizado para validar a hipótese de que o modelo proposto serve para indicar a alternativa adequada para operação do sistema de transporte por táxi. O estudo de caso foi feito para a cidade de Bauru, iniciando com a coleta de dados pelos próprios motoristas de táxi e, com a utilização desses dados foi realizada a simulação da demanda pelo serviço.

Posteriormente, foi realizada a simulação das três alternativas de oferta, utilizando os dados gerados através da simulação de demanda.

Ainda, neste capítulo apresenta-se os resultados obtidos através das simulações realizadas com o modelo. Com a utilização desses dados, é verificada a validação do modelo proposto, através do cálculo do desvio padrão dos dados de geração e distribuição de viagens gerados pelo modelo e, ainda, da comparação entre esses dados gerados e observados. Finalmente, realiza-se uma análise comparativa entre os três tipos alternativos de oferta simulados para o estudo de caso. Dos três tipos de oferta simulados, somente a primeira alternativa - pontos privativos - opera na cidade em estudo; portanto, as duas últimas alternativas - pontos livres e rádio táxi- seriam tipos inovadores de operação para o serviço de táxi.

Capítulo 5 - Conclusões e Recomendações

A parte inicial deste capítulo consiste de conclusões obtidas ao longo do desenvolvimento do trabalho. Posteriormente, são feitas recomendações e sugestões para trabalhos que serão desenvolvidos nesta área de transportes.

Após o Capítulo 5 é apresentada uma listagem de todos os trabalhos que serviram de base para a revisão bibliográfica desta pesquisa, ou seja, as obras consultadas, como também uma listagem dos trabalhos que são citados como referência no texto.

2. SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE TÁXI

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este capítulo trata das características do sistema de transporte por táxi, nas duas formas de serviço - viagem partilhada e exclusiva; da modelagem do sistema paratransito, em geral, com o intuito de conhecer algum modelo de semi-público que possa servir de base ao modelo desenvolvido neste trabalho; e do processo de simulação, de uma forma abrangente.

O sistema de transporte por táxi possui características peculiares que faz com que a forma de serviço (viagem partilhada ou exclusiva) seja função da necessidade do transporte, podendo ser diferente de uma cidade para outra ou, ainda, entre zonas de tráfego dentro da mesma cidade.

A forma do serviço de táxi com viagem partilhada não é muito comum no Brasil. Mas, este tipo de serviço é indicado para áreas urbanas onde a demanda por transporte é representada por viagens através de linhas regulares e com horários, percursos e pontos iniciais e finais predeterminados, tal como no transporte público urbano. Contudo, essas áreas urbanas devem apresentar, de um lado, um pequeno

número de viagens que não justifica a implantação do transporte público convencional ou, de outro lado, um grande número de viagens que o serviço de transporte público existente não seja suficiente para suprir a demanda.

A forma de serviço com viagem exclusiva é muito comum nas cidades brasileiras. Este sistema pode ser implementado em áreas urbanas com quaisquer características, desde que exista demanda pelo serviço. Porém, este serviço pode ser operado através de diferentes tipos de pontos - privativos, livres, flutuantes e provisórios, e ainda existe a alternativa de rádio táxi. Mas, cada tipo de operação deve ser adequado a necessidades do serviço pela população.

A modelagem do sistema semi-público, em geral, será discutida neste capítulo, segundo a classificação de macromodelos e micromodelos, na tentativa de utilizar algum modelo existente como base do modelo proposto para o serviço de transporte por táxi. E, ainda, dentro dessa classificação, serão discutidos modelos de semi-público que seguem os tipos estocástico, determinístico, empírico, regra prática, oferta-demanda e simulação.

Quanto ao processo de simulação, serão discutidas as vantagens e desvantagens desse método em relação à metodologia analítica. Posteriormente, será apresentada a seqüência de etapas em um processo sistemático para o estudo de sistemas através de simulação. E, finalmente, as classificações de linguagem e "pacote" de simulação serão apresentadas, incluindo as vantagens e desvantagens do uso deste tipo de ferramenta.

2.2. SISTEMA DE TRANSPORTE POR TÁXI

O táxi é um automóvel padrão ou veículo especialmente projetado para passageiros, operado por um motorista profissional, alugado para viagens particulares por um ou mais passageiros (VUCHIC, 1981). Portanto, o sistema de táxi pode fornecer serviço com viagem partilhada ou exclusiva.

O transporte por táxi é o mais comum dos serviços semi-públicos, pois existe mesmo quando as demandas são pequenas. Muitas vezes, o táxi é a única opção disponível ao público em cidades pequenas. Este tipo de serviço apresenta flexibilidade de horários e trajetos e, ainda, prescinde da necessidade de estacionar no ponto final da viagem, o que racionaliza o uso do espaço urbano e minimiza conflitos entre carros e ônibus.

Em virtude do crescente consumo de combustível, da preocupação com o problema de poluição ambiental e dos congestionamentos de tráfego, o táxi é uma alternativa para transporte urbano de passageiros que pode vir a ser bastante solicitada se o serviço tornar-se mais acessível à população em termos monetários. Segundo BRITTON (1986), a realidade do setor de táxi no mundo em 1986, era a seguinte e, atualmente, ainda continua:

- (1) Um significativo fornecedor de serviços sociais.
- (2) Uma estrutura empresarial que fornece serviços sem a necessidade de subsídios públicos.
- (3) Extremamente diferente de país para país em termos de tamanho, estrutura, desempenho, necessidades e prospectos em desenvolvimento.
- (4) Pouco estudado e substancialmente subestimado pelos planejadores e administradores de transporte.

O serviço de táxi, por ser classificado como um tipo de transporte semi-público, possui características tanto do serviço privado como também do serviço público de transporte urbano de passageiros. Como serviço público, o transporte por táxi pode ser utilizado por qualquer pessoa, desde que ela pague a tarifa cobrada pelo serviço. Mas, na realidade, o perfil dos usuários de táxi, de uma forma geral, é bastante característico. LAGASSE III (1986) mostrou, através de pesquisa realizada, que os passageiros de táxi são constituídos do seguinte perfil social: (1) 60% são impedidos legal e/ou financeiramente de utilizarem o transporte privado, tais como idoso, jovem e deficiente; e (2) 40% são turistas e executivos.

Apesar de o transporte por táxi apresentar, em alguns lugares, alto preço para o usuário do serviço, para NICHOLS (1976), o modo de transporte que oferece mais conveniência e economia para o usuário do tipo executivo é o táxi. Pois, embora geralmente este seja o modo mais dispendioso em termos monetários, ele oferece um transporte porta a porta relativamente rápido e evita o dispêndio de tempo e de dinheiro com estacionamento. E ainda, os táxis vão aonde e quando os passageiros desejam, possuindo uma máxima flexibilidade relativa à demanda correspondente (SILCOCK, 1986).

Em muitos contextos, o táxi é complementar a outro transporte público. Por exemplo, ele pode agir como um alimentador, particularmente para longas viagens com bagagem pesada. Mas, segundo DIAS (1993), o táxi deve ser percebido não só como um transporte ocasional, mas como um transporte rotineiro. Para tanto, é necessário que, ao lado de vantagens como a menor demanda de áreas para estacionamento, exista acessibilidade imediata para o usuário e, de forma nítida, vantagem econômica.

Os táxis têm desempenhado um importante papel no fornecimento de serviços de transporte para usuários de formação econômica e social variada (REMAK, apud

MORRIS, 1989). No entanto, geralmente a sua importância não é devidamente reconhecida. BRITTON (1986) identifica alguns dos mais sérios problemas encontrados no setor de táxi, que são os seguintes:

- (1) Desenvolvimento inadequado do próprio setor de táxi, com a concomitante perda de serviço.
- (2) Integração com outros modos de transporte é restrita ou inexistente, o que tem conduzido a subsídios desnecessários para empresas de transporte público em áreas de baixa demanda, onde o uso de táxis poderia ser mais racional.
- (3) Serviço inadequado em certas áreas geográficas para as quais poderia ser o mais eficiente meio de transporte.
- (4) A precária estrutura econômica dos operadores de táxi que freqüentemente conduz a má condição de trabalho, falências, práticas irregulares do serviço e, eventualmente, criminalidade.

Em relação a operadores de táxi, algumas dificuldades para realizar o serviço de forma racional devem ser reconhecidas, tais como: a condição financeira de operadores de frota é relativamente ruim, os veículos de táxi são velhos e a manutenção negligenciada. Ainda, diversos veículos ilegais com segurança inadequada operam no sistema. Além disso, alguns motoristas de táxi têm relutado a trabalhar com autoridades de transporte para desenvolver novos serviços.

2.3. TÁXI COM VIAGEM PARTILHADA - TÁXI LOTAÇÃO

A viagem partilhada foi introduzida durante a II Guerra Mundial como um instrumento de política pública. Largamente negligenciada depois da guerra, a viagem partilhada foi revitalizada como consequência da primeira crise do petróleo árabe em 1974 (FERGUSON, 1990).

O serviço de táxi lotação, segundo FIGUEIRA (1989), surgiu oficialmente em 1973. Na cidade de São Paulo, este tipo de serviço se tornou oficial em 28 de Fevereiro de 1990. O táxi lotação foi criado para atender a uma demanda de usuários que possuem uma renda mensal acima da média dos usuários de ônibus, eventualmente possuindo automóvel e que se dispõem a pagar o equivalente a algumas passagens de ônibus para ter um serviço rápido, confortável e mais privativo.

Portanto, o serviço de táxi lotação deveria atender à fatia de mercado intermediária entre o transporte coletivo convencional e o táxi com viagem exclusiva, através de linhas regulares; com horários, percursos e pontos iniciais e finais. Locais adequados devem ser definidos para a implantação dos pontos iniciais, e estes devem conter informações permanentes sobre as rotas de veículos, e no interior destes devem conter informações sobre período de operação, itinerário, instruções da forma de pagamento da viagem, etc. Para FIGUEIRA (1989), os pontos iniciais do serviço de táxi lotação deveriam se localizar juntos a terminais de ônibus urbanos, estações de metrô e trem metropolitano nos períodos de pico da manhã e da tarde, assim aumentaria o índice de utilização dos táxis com viagem exclusiva, em termos de viagens e de passageiros transportados, melhorando a rentabilidade para o motorista/proprietário e diminuindo o custo para o usuário.

O táxi lotação pode operar de modo complementar ao sistemas de transporte coletivo estrutural ou troncal, distribuindo, assim, os passageiros nos bairros ou outros pólos de interesse. Neste caso, a extensão das linhas do serviço de táxi lotação

deveria estar compreendida numa faixa de utilização e aceitação econômica pelos usuários e, os veículos deveriam utilizar caminhos alternativos aos das linhas de ônibus, visando aumentar a velocidade média no percurso.

Já há evidências de que táxis desviarão demandas de outros modos de transporte público, em algumas circunstâncias (NASH, 1982). Este pode ser particularmente o caso onde o táxi lotação é permitido ou incentivado. Pelo menos em teoria, para FERGUSON (1990), viagem partilhada pode ser uma técnica eficaz de gerenciamento de demanda por transporte, com o objetivo de diminuir congestionamento de tráfego a níveis regional e local.

Um exemplo de viagem partilhada, como técnica de gerenciamento de demanda por transporte, que diminuiu congestionamento de tráfego, é o caso da cidade de Bombaim, a capital financeira da Índia. Segundo PASRICHA (1991), forças sócio-econômicas criaram em Bombaim a maior frota de táxis da Ásia, proporcionando uma alta percentagem de viagens vazias, aumentando o congestionamento de tráfego. Por outro lado, o sistema de ônibus coletivo operava totalmente sobrecarregado. Por esses motivos, o serviço de táxi lotação foi planejado, em 1982, para otimizar a utilização do táxi no distrito central de negócios (CBD - "Central Business District") em Bombaim. Para PASRICHA (1991), os benefícios diretos que resultaram da implantação do serviço de táxi lotação em Bombaim foram que a ocupação média de um táxi passou de 1,6 para 4 usuários por veículo, com 2.000 passageiros sendo transportados em apenas 500 viagens de táxi, resultando em uma economia de 750 viagens de táxi e reduzindo o congestionamento durante o período de pico da manhã. Com a implantação do serviço de táxi lotação, a cidade de Bombaim está economizando aproximadamente 2.880.990 litros de combustível por ano, o que significa uma economia de aproximadamente 18 milhões de dólares americanos por ano, apenas em combustível.

No Brasil, um exemplo do serviço de táxi lotação é o sistema implantado, em 1977, na cidade de Porto Alegre. O sistema de táxi lotação foi adotado como fórmula alternativa e complementar para o transporte público (ALVES, 1985). O serviço visava proporcionar um meio de transporte intermediário entre o transporte coletivo convencional, o táxi comum e o automóvel particular. A frota é composta basicamente de veículos do tipo microônibus, com capacidade para transportar até 17 passageiros sentados, não sendo permitido o transporte de passageiros em pé. O sistema possui uma grande versatilidade, pois não tem paradas fixas ao longo das linhas, estas com itinerários fixos. ALVES (1985) acredita que a captação de usuários pelo sistema de táxi lotação é da seguinte forma: 50% de usuários do transporte privado, 25% de usuários de ônibus e 25% de usuários do táxi comum.

Agências de viagem partilhada em toda a Califórnia (EUA) têm participado, desde 1986, de uma promoção estadual que tenta conscientizar aquele passageiro que viaja diariamente entre dois municípios a trabalho, sobre a importância econômica e ambiental de viagem partilhada (THAYER, 1992). Realizada anualmente, em setembro ou outubro, a Semana de Viagem Partilhada da Califórnia ("California Rideshare Week" - CRSW) vai se tornando mais importante, no decurso dos anos, com o aumento do congestionamento de tráfego.

Para ZIEGLER (1977), operações com viagem partilhada são significativamente mais complexas do que operações de táxi com viagem exclusiva. Por outro lado, viagem partilhada pode trazer benefícios para funcionários, empresas e comunidade, em geral. A saber:

(1) Funcionários

Os benefícios de viagem partilhada para funcionários incluem menor consumo de combustível e, conseqüentemente, menor custo de viagem para

aqueles que viajam sozinhos ao trabalho em seus veículos e, estado de tensão amenizado para aqueles que viajam de ônibus ao trabalho.

(2) Empresas

Os benefícios de viagem partilhada para empresas incluem redução de estacionamento para funcionários, menores atrasos e diminuição da falta de funcionários ao serviço.

(3) Comunidade

Os benefícios de viagem partilhada para a comunidade, em geral, incluem redução de poluição do ar, consumo de energia e congestionamento de tráfego.

2.4. TÁXI COM VIAGEM EXCLUSIVA

Os táxis são um modo personalizado de transporte público, que são autorizados para transportar um máximo de quatro passageiros e remuneração com base em aluguel e, tarifas cobradas por taxímetro (LEE, 1989). Para WEINER (apud MORRIS, 1989), o serviço de táxi exclusivo é uma das formas mais antigas de transporte urbano de passageiros. E NICHOLS (1976), afirma que a forma mais comum de semi-público, atualmente, é o serviço de táxi padrão com uso exclusivo.

O táxi com viagem exclusiva, por ser um transporte porta a porta, é conveniente para o transporte de bagagem, porém apresenta tarifa mais alta do que todos os outros modos de transporte semi-público. Este fato causa insegurança por parte do usuário, em relação à cobrança exagerada, e incentiva alguns motoristas a

recusar viagens pouco lucrativas. Mas, para MILLER (1977), o serviço de táxi possui um conjunto de características essenciais que o torna apropriado para a demanda de baixa densidade, que não pode ser servida eficientemente por transporte de rota fixa, a saber: (1) os táxis operam em comunidades suburbanas e cidades pequenas e, geralmente, fornecem serviço 24 horas por dia e 7 dias por semana; e (2) o serviço de táxi opera praticamente com viagem exclusiva.

SAMUELS (1976) afirma que o serviço de táxi com viagem exclusiva opera em cidades de porte médio e grande. Cidades menores e comunidades têm, certamente, serviço de táxi com viagem exclusiva onde, na maioria, é o único transporte disponível ao público. Mas, independentemente do porte, cada cidade apresenta características próprias da demanda de táxi e podem, na maior parte, ter soluções peculiares. Este fato é confirmado aqui no Brasil através de pesquisa realizada em 1994 pelos órgãos Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS-UNESP) e Fundação Prefeito Faria Lima (CEPAM); que identificaram algumas características do serviço de transporte por táxi, tais como pontos de maior demanda, tamanho de frota, existência de rádio táxi, etc., como função do porte da cidade.

Em resposta à pesquisa acima mencionada, a maioria das cidades indicaram que o tamanho da frota de táxis é determinado através da relação *1 táxi para cada 1.000 habitantes*. Mas, observou-se que a média global dos valores encontrados na relação entre número de táxis e população das cidades se apresenta da seguinte forma: *1 táxi cadastrado para cada 1.306 habitantes e 1 táxi em operação para cada 1.631 habitantes*.

As duas áreas gerais de incerteza para qualquer serviço de transporte são demanda e oferta (MILLER, 1977). Em se tratando da demanda, a preocupação principal é a relação entre o uso, o nível e o preço do serviço em diferentes ambientes

sócio-econômicos. A característica básica da demanda de transporte é que o serviço é solicitado pelo usuário e, veículos são alocados em uma base dinâmica para servir as solicitações em fila (ABKOWITZ and OTT, 1980). E, para KAWAMOTO (1994a), demanda por transporte é o desejo de uma entidade de locomover alguma coisa de um lugar para outro. Tal demanda pode estar relacionada a uma dada modalidade de transporte ou a uma determinada rota. Assim, a demanda de viagem por táxi é tida como sensível a elementos, tais como: propósito da viagem, par origem-destino e período do dia em que ocorrem as viagens.

O propósito das viagens realizadas por táxi é dado por motivos variados, dependendo do nível sócio-econômico do usuário. Alguns motivos mais frequentes são: lazer, emergências e transportar bagagens pesadas. Em se tratando do último motivo, NASH (1982) afirma que o táxi também pode atuar como alimentador do transporte público, particularmente em grandes percursos com bagagens pesadas.

A origem e o destino das viagens por táxi são função do propósito das mesmas. Em viagens de lazer, a origem geralmente é a residência do usuário e o destino se dá em áreas de centro de diversão. Para viagens de emergência, a origem pode ser a residência do usuário ou este inicia a viagem na rua, enquanto que o destino provavelmente é algum estabelecimento de serviços médicos. Em viagens de transporte com bagagens pesadas, a origem pode ser um centro de compras e o destino a residência do usuário. Por outro lado, quando o táxi atua como alimentador do transporte público, a origem da viagem geralmente é a residência do usuário e o destino um terminal de transporte intermunicipal.

Apesar de FARRIS & HARDING (1976) afirmarem que em muitas cidades os picos de demanda por táxi ocorrem entre 6:00 e 9:00 horas e novamente entre 16:00 e 19:00 horas, as viagens por táxi podem ocorrer em qualquer período entre 00:00 e 24:00 horas, em virtude de o propósito das viagens ser variado.

Quanto à oferta, o táxi com viagem exclusiva opera em pontos, geralmente, próximos a pólos geradores de viagem, tais como: estações rodoviárias e ferroviárias, portos, aeroportos, hotéis, teatros, cinemas, etc. Os táxis utilizam indicadores luminosos, na parte superior externa do veículo, para demonstrar quando seus serviços estão disponíveis. Segundo PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA (1990), existem quatro tipos de pontos, que são os seguintes:

(1) Privativo

É aquele que pode ser utilizado apenas por táxis ali cadastrados. A característica deste tipo de operação é a vinculação carro-ponto, ou seja, o início da viagem começa com a saída do veículo no ponto, onde o usuário se dirige ou solicita o serviço por telefone. O veículo retorna ao ponto de origem após o final da viagem.

(2) Livre

É aquele em que se permite o estacionamento de qualquer táxi. Este tipo de operação considera que o veículo está, inicialmente, no ponto onde ele é licenciado e oferece seu serviço obedecendo à fila de disponibilidade. Após realizada a viagem solicitada pelo usuário, o táxi estaciona no ponto mais próximo ao destino do mesmo, desde que isso lhe seja conveniente.

(3) Flutuante

É aquele em que é permitido o estacionamento de qualquer táxi, desde que o número de veículos estacionados, no momento, seja inferior a uma percentagem do total de veículos cadastrados no ponto.

(4) Provisório

É aquele criado para atender necessidades ocasionais, cuja existência terá duração limitada temporariamente, podendo ser utilizado por qualquer veículo/táxi regularizado.

Os sistemas mais modernos de táxis possuem atendimento ao usuário por telefone, onde um funcionário despachante, em permanente contato com a frota pelo rádio, auxilia a sua distribuição pela área, proporcionando menores perdas de tempo e combustível (PAMPOLHA; BRASILEIRO; SILVA e FERRAZ, 1993). Através da pesquisa sobre táxi, realizada pelos órgãos ANTP, EESC-USP, FEIS-UNESP e CEPAM em 1994, observou-se que no Brasil o serviço de rádio táxi só começa a existir em cidades com população acima de 50.000 mil habitantes, sendo bastante freqüente este tipo de serviço em cidades acima de 500.000 mil habitantes. Das 290 cidades que responderam a pesquisa de táxi, acima mencionada, apenas 51 destas possuem o serviço de rádio táxi, o que representa 22,08% do total de cidades que responderam ao questionário. Baseado nesta estimativa, pode-se dizer que é pouco o número de cidades brasileiras que oferecem a alternativa de rádio táxi para o sistema e esta é característica das cidades de maior porte.

No entanto, o modelo de simulação para serviço de transporte por táxi, que é desenvolvido neste trabalho, considera apenas três tipos de alternativas para a operação do serviço de táxi, que são: pontos privativos, pontos livres e rádio táxi. Pois, a alternativa de operação com pontos flutuantes é semelhante à alternativa com pontos livres, exceto que para o primeiro tipo, a decisão para o motorista que realiza uma viagem decidir permanecer no ponto mais próximo do destino da viagem do usuário, é função apenas do número de táxi que estão ali estacionados, enquanto que para a alternativa com pontos livres a decisão do motorista é função, além do número de táxis estacionados, do surgimento da demanda pelo serviço naquele ponto. O

ponto provisório não é considerado pelo modelo por ser uma alternativa de operação do serviço por táxi que existe apenas em necessidades ocasionais e, não faz parte do sistema de táxis que opera ao longo do dia e durante toda a semana.

2.5. MODELAGEM DO SISTEMA DE TÁXI E OUTROS SEMI-PÚBLICOS

A revisão bibliográfica foi realizada sobre a literatura do sistema semi-público, como um todo, no sentido de verificar a existência de algum modelo que servisse de base ao modelo desenvolvido neste trabalho. Esse modelo poderia ser referente a qualquer tipo de serviço semi-público, desde que considerasse os princípios teóricos utilizados no modelo proposto, e não necessariamente ao serviço de transporte por táxi com viagem exclusiva.

O propósito dos modelos, em geral, é permitir a realização de estudos sobre sistemas, analisando sua reação diante das influências internas, externas ou sua abrangência no meio ambiente. Os modelos de semi-públicos, segundo BILLHEIMER et al. (1979), podem ser classificados em dois grupos distintos: macromodelos e micromodelos. Os macromodelos são os que lidam com um nível inferior de detalhe e enfocam áreas individuais de serviço. Enquanto que, os micromodelos são os que lidam com um alto nível de detalhe e enfocam as relações entre veículos individuais e passageiros.

Os macromodelos podem ser classificados, pela ordem decrescente de complexidade, em quatro níveis, que são: modelos estocásticos, modelos determinísticos, modelos empíricos e regras práticas. Os modelos estocásticos se assemelham a micromodelos em termos de complexidade, profundidade de detalhe e necessidades de dados, pois as chegadas e os serviços podem ser regidos por um

processo aleatório com distribuição de probabilidade conhecida. Os modelos determinísticos, geralmente, tratam de aspectos estocásticos do desempenho de sistemas, mas utilizam aproximações determinísticas com ausência de variáveis aleatórias no modelo. Modelos empíricos tentam desenvolver relacionamentos entre atributos do projeto e operação do sistema, geralmente através de análise de regressão. As regras práticas, por sua vez, representam a experiência operacional e os resultados de modelagem reduzidos em sentenças simples que têm a indicação, embora não necessariamente a credibilidade de axiomas.

Dois exemplos da classificação geral de micromodelos são: modelo de oferta-demanda e simulação. Os modelos de oferta-demanda devem analisar a demanda para um dado tipo de transporte antes de indicar uma alternativa de oferta para o serviço; mas, de acordo com BILLHEIMER et al. (1979), poucos modelos existentes tratam interativamente da oferta e demanda de semi-público a nível desagregado. Um modelo de simulação é uma tentativa de criar eventos artificiais, de uma maneira semelhante ao que ocorre em um sistema real.

Segundo BILLHEIMER et al. (1979), relativamente poucos modelos estocásticos de sistemas semi-públicos têm sido desenvolvidos até o momento. Neste sentido, ADEBISI (1980) desenvolveu um modelo teórico, baseado em um conceito probabilístico que considera o número de passageiros e a localização dos mesmos como variáveis aleatórias, para estimar a expectância e variância dos tempos de viagem por ônibus com rota flexível.

Os modelos determinísticos são também chamados de modelos de desempenho da programação do serviço, pois tentam estimar alguma medida de desempenho da programação do serviço. Uma variedade de técnicas analíticas são desenvolvidas para estimar algumas medidas de desempenho, tais como tempo médio de espera, tempo médio de viagem e ocupação de veículos. Um exemplo de modelagem determinística é o modelo de sistema LGG ("Land Geographic Global")

desenvolvido por SAKA (1992), que utiliza as tecnologias de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Sistema de Posicionamento Global (GPS); tal modelo é utilizado para minimizar o tempo de viagem por veículos de emergência e pode ser utilizado também para outros tipos de serviço, tais como táxi e veículos de entrega. Ainda, Schonfeld, em 1981, desenvolveu um modelo analítico para determinar as densidades críticas de demanda, comparando serviço de ônibus convencional com serviços semi-público, tais como "dial-a-ride", táxi e "carpool". Porém, segundo CHANG and SCHONFELD (1991), o modelo não considerou a influência da densidade de demanda nos custos operacionais dos sistemas considerados.

Ainda em termos de macromodelo, o modelo desenvolvido por Arillaga e Medville, em 1974, é classificado, segundo CHANG and SCHONFELD (1991), como um estudo empírico para desenvolver simples relações lineares entre desempenho e parâmetros de sistemas semi-público existentes, baseado em dados observados. Também, um estudo empírico foi realizado para comparar produtividade de sistemas existentes de "dial-a-ride", táxi e ônibus convencional por Hollinden e Blair, em 1979; mas, para CHANG and SCHONFELD (1991), resultados de estudos empíricos não podem fornecer linhas de orientação confiáveis para selecionar a melhor opção e para otimizar parâmetros de projeto e operação.

Como as regras práticas, geralmente, fazem uso de axiomas (verdades que não exigem demonstração), elas são os tipos de modelos mais utilizados na operação do serviço de táxi em grande parte das cidades brasileiras. No Brasil, a regra prática mais utilizada na operação do serviço de táxi é a relação *1 táxi para cada 1000 habitantes*.

A maior parte dos modelos de semi-público desenvolvidos podem ser classificados como modelos de oferta, pois se preocupam principalmente em determinar o caminho mínimo para coletar passageiros e chegar ao destino ou, em obter o tamanho de frota para serviços específicos. Exemplos deste tipo de modelagem são os modelos de oferta, desenvolvidos por ENGLISHER and SOBEL

(1977), para os seguintes tipos de serviço: transporte com rota fixa, ônibus contratado, semi-público híbrido e "dial-a-ride". Um outro exemplo é o modelo de roteamento para sistema de ônibus fretado, desenvolvido por SOUZA e NASSI (1993), que consiste basicamente em construir as rotas que melhor atendam aos objetivos dos operadores e usuários do sistema.

Todavia, a rota percorrida por um veículo do sistema "dial-a-ride" ou ônibus fretado apresenta características diferentes da rota percorrida por um táxi para apanhar os usuários, pois os dois primeiros tipos de semi-público oferecem serviço com rota fixa, enquanto que o táxi oferece serviço com rota flexível. Também, as características que influenciam na determinação do tamanho de frota de um sistema que utiliza ônibus como veículo para realizar o serviço são diferentes das características do sistema de táxi. E, mesmo assim, esses modelos de oferta desenvolvidos não levam em consideração a aleatoriedade da demanda, o que é imprescindível no desenvolvimento de um modelo para a operação do serviço de transporte por táxi.

Ainda, muitos modelos usados para o dimensionamento de frota geralmente são modelos lineares; se a demanda por serviço na área considerada for conhecida, esses modelos poderão ser calibrados às condições dessas áreas; caso contrário, adotam-se parâmetros médios obtidos em áreas de serviço com características semelhantes, os resultados destes geralmente ficam sujeitos a incertezas. Adebisi e Hurdle, em 1982, desenvolveram um modelo matemático, com "headway" como variável de decisão, para comparar transporte de ônibus urbano com estratégias de rota fixa e flexível e, selecionar a melhor estratégia em função da demanda; contudo, o estudo foi limitado a áreas de serviço muito pequenas, que requerem somente uma única rota fixa ou uma única zona de serviço para o sistema de rota flexível (CHANG and SCHONFELD, 1991). Apesar desse modelo considerar a alternativa com rota flexível, o fato de limitar a área de serviço em uma única zona limita o acesso dos

usuários de táxi, pois a demanda por táxi se apresenta de forma espalhada em toda a área urbana e não é representada através de padrão de assentamento da população.

Em termos de modelo de simulação, SMITH (1991) desenvolveu um algoritmo de programação computadorizada que determina a melhor rota sequencial com um número especificado de paradas para o serviço de "dial-a-ride" por ônibus; mas, como o algoritmo não considera a demanda desviada de outros modos de transporte, quando o volume de passageiros aumenta, um maior tempo para o processamento dos dados é necessário; portanto um algoritmo mais sofisticado deve ser usado. Pelas mesmas razões que foram comentadas anteriormente, um modelo para simular o sistema de "dial-a-ride" não é compatível para simular o sistema de táxi.

Os modelos de simulação existentes não oferecem condições para simular os efeitos que as variáveis características da demanda por transporte exercem na qualidade de oferta para operação do sistema, especificando atributos do nível de serviço sobre a quantidade demandada. Este fato é exemplificado pelo modelo de simulação desenvolvido por Saltzman, em 1973, para comparar serviços de ônibus com rota fixa, táxi e "dial-a-ride". Embora modelos de simulação possam conter detalhes suficientes para analisar a configuração do sistema específico, tal modelo não fornece relações explícitas entre variáveis de decisão, tais como tamanho de frota e frequência do serviço e; parâmetros do sistema, tais como densidade de demanda, área de serviço, custo operacional e valores de tempo (CHANG and SCHONFELD, 1991).

Sabe-se que as características da demanda por serviço de transporte de passageiros modificam a cada instante. Portanto, quanto mais sensível à demanda for o modo de viagem, mais representativa deve ser a demanda simulada; caso contrário, as medidas de desempenho, obtidas através de simulação, não retratarão a realidade. Para tanto, é preciso que o módulo de simulação da demanda considere os padrões

observados na realidade, tanto em relação às viagens produzidas em cada zona de tráfego ao longo do dia, como em relação aos destinos dessas viagens. Pois, segundo KAWAMOTO (1994a), o conhecimento da demanda por um tipo de transporte é indispensável ao planejamento do mesmo, na medida em que mostra os deslocamentos potenciais de pessoas num espaço físico, ajudando a estabelecer prioridades no atendimento e a dimensão da oferta de transportes.

Os resultados da análise de demanda por transporte são relações, geralmente na forma de modelos matemáticos, que são referidas como modelos de demanda por transporte. Os modelos de demanda devem ser desenvolvidos e usados para conhecer o surgimento de usuários, em diferentes áreas urbanas, e para previsão da demanda sob diferentes níveis de custos e de qualidade do serviço. Portanto, o modelo de demanda de transporte por táxi proposto neste trabalho é um simulador que procura reproduzir a demanda pelo serviço ocorrida na prática, sendo esta passível de ajuste a qualquer momento.

Assim, o modelo desenvolvido neste trabalho se trata de uma simulação estocástica para o sistema de transporte por táxi; pois não foi encontrado na literatura nenhum modelo que procura reproduzir a situação real do sistema de táxi, com o intuito de melhorar o desempenho do mesmo. Em virtude disso, o modelo proposto tem como objetivo selecionar a melhor alternativa de oferta para o serviço de transporte por táxi.

2.6. MODELO DE SIMULAÇÃO

Se os relacionamentos (matemático ou lógico) que compõem um modelo são bastante simples, então pode ser possível usar métodos matemáticos (tais como

álgebra, cálculo ou teoria probabilística) para se obter informações sobre questões de interesse; este processo é chamado de solução analítica. Contudo, muitos sistemas no mundo real são muito complexos para permitir que modelos sejam construídos analiticamente e, esses sistemas devem ser estudados por meio de simulação. Para LAW and KELTON (1991), na simulação digital, usa-se um computador para analisar numericamente um dado cenário do sistema estudado, a fim de estimar algumas medidas de mérito do sistema em questão.

O método de simulação possui muitas vantagens sobre o método analítico. Associado à cada usuário, pode-se ter um ou mais atributos (características de entidades, que são os objetos em um sistema discreto), podendo cada atributo ser utilizado para armazenar qualquer informação sobre o usuário. Outra facilidade da simulação é a utilização de diferentes tipos de distribuições para o tempo entre chegadas, para os tempos de serviço e para as atribuições de valores às variáveis; além disso, disciplinas de filas mais complexas são permitidas na simulação e outras podem ser criadas usando decisões de roteamento. Ainda outra facilidade da simulação vem do fato de decisões de roteamento poderem ser realizadas baseadas tanto no estado da simulação quanto em probabilidades.

Mas, a principal vantagem do método de simulação, em relação aos métodos analíticos, para modelagem de semi-público é a possibilidade de analisar detalhes da interação entre passageiros e veículos e, a facilidade de analisar diferentes cenários de tráfego.

Não existem, contudo, apenas vantagens associadas ao processo de simulação. Também existem várias desvantagens, segundo SOARES (1990) principalmente aquelas relacionadas com os problemas estatísticos próprios da simulação, tais como erros provenientes de fontes originárias do processo de simulação. Esses erros podem ser do tipo: estimação imprecisa dos parâmetros de entrada do modelo, estrutura incorreta do modelo ou processo inadequado da geração de amostras aleatórias. Por

isso MARCHESONI (1994) adverte que ao se decidir analisar um problema através de simulação, deve-se pensar sobre as vantagens e desvantagens da simulação e, utilizá-la de maneira correta para se obter resultados adequados sobre o sistema estudado. Neste mesmo sentido, para BANKS and CARSON II (1984), o analista de sistemas deve considerar as vantagens e desvantagens de simulação antes de utilizar a metodologia em um caso particular.

Um processo sistemático para o estudo de sistemas através de simulação pode ser feito, segundo MIZE and COX (apud BRASILEIRO, 1990), seguindo quatro etapas, que são: formulação do problema, projeto do experimento da simulação, construção do modelo computacional e análise dos resultados da simulação.

Na fase inicial da simulação, quando se trata da formulação do problema de transporte por táxi, é necessário especificar o propósito do estudo, levando em consideração o relacionamento com fatores externos, tais como: a estrutura urbana, as características do sistema geral de transporte e as características sócio-econômicas da população que habita cada zona de tráfego. É necessário o conhecimento da estrutura urbana de uma cidade para que se possa definir o tipo de oferta mais adequado para o sistema de transporte por táxi; algumas características da estrutura urbana que se deve ter conhecimento são: morfologia, sistema viário e ocupação do solo. O sistema geral de transporte também deve ser levado em consideração quando se trata da definição do tipo de oferta para um sistema de táxi; as características do sistema geral de transporte que devem ser identificadas são: divisão modal, motivos de viagem e número de viagens realizadas por dia. O conhecimento do uso do solo de cada zona de tráfego da cidade é também importante na definição do sistema de táxi da mesma, pois o tipo de uso do solo caracteriza a zona de tráfego como residencial, comercial, industrial ou de lazer; estas características são importantes para o conhecimento da flutuação da demanda de viagem por táxi ao longo do dia, em cada

zona de tráfego. A formulação do problema e o propósito deste trabalho foram especificados no Capítulo 1.

Dentro do projeto do experimento da simulação, o sistema deve ser descrito em termos de quatro elementos, que são: componentes, variáveis, parâmetros e relacionamentos. Estes elementos devem ser definidos de tal maneira que o modelo computacional possa ser construído com precisão suficiente para imitar o sistema estudado, pois tais elementos compreendem o que se chama de modelo matemático do sistema. Os sistemas de simulação, em sua maioria, são bastante amplos, envolvendo hipóteses sobre certos aspectos do problema. É importante que se reconheça claramente as condições dessas hipóteses, pois a análise dos resultados obtidos através da simulação depende diretamente das hipóteses definidas.

As entidades (atividades, processos e eventos) de um sistema são os elementos usados para descrever o comportamento dinâmico de sistemas discretos e, nas quais as linguagens de simulação para esses tipos de sistemas são baseadas. Uma seção de um programa de simulação pode descrever uma atividade, um evento ou um processo, dependendo da linguagem usada. Assim, segundo MACDOUGALL (1987), cada linguagem de simulação tende a impor um ponto de vista particular do sistema na concepção do analista ao construir o modelo.

Portanto, o modelo computacional pode ser escrito em linguagem própria de simulação através de um "pacote" de modelagem, ou pode ser escrito através de um simulador próprio em linguagem de alto nível. No caso deste trabalho, o modelo computacional é constituído por um simulador feito especificamente para o sistema de transporte por táxi, escrito na linguagem TURBO PASCAL. O modelo computacional deve ser construído de tal forma que as estatísticas objetivas sejam acumuladas com o progresso da simulação, uma vez que a disposição das estatísticas requeridas para o estudo de simulação depende do propósito do estudo e dos métodos de análise a serem usados nos resultados. A grande maioria dos modelos de

simulação em computador são organizados de forma que consista de programa principal e de diversas subrotinas.

Um modelo de simulação em computador é considerado válido se produz resultados coerentes com os que são produzidos pelo sistema real, que o modelo computacional é destinado a representar. Pois, a análise e interpretação dos resultados da simulação são influenciadas pela maneira como o experimento foi projetado e pelas hipóteses adotadas quando o modelo foi construído.

O uso generalizado de simulação como uma ferramenta de análise de sistemas, deu origem a uma série de linguagens e "pacotes" de modelagem especificamente projetadas para este fim. Segundo, SOARES (1990), os "pacotes" de modelagem podem ser divididos em duas grandes categorias: "pacotes" de simulação para uso específico, que consta dos "pacotes" de modelagem voltados para a avaliação do desempenho de sistemas particulares e; "pacotes" de simulação para uso geral, que são aqueles projetados para modelagem de vários tipos de sistemas.

No caso dos "pacotes" de modelagem para uso específico, a formulação do modelo é construída na própria ferramenta, sendo os parâmetros do modelo especificados através de uma linguagem relacionada com o sistema modelado. Quando o sistema se adapta à linguagem de modelagem, torna-se fácil construir o modelo. Exemplos de linguagens de simulação para propósito específico são os seguintes: MAP 1 e MAST para modelagem de sistemas de manufatura; IDSS 2.0 para modelagem de sistemas aeroespaciais; CROSP para modelagem de sistemas agrícolas; etc.

Os "pacotes" de modelagem para uso geral têm como vantagem o fato de que uma quantidade de sistemas pode ser representada através do uso de um desses pacotes. Contudo, em função da generalidade deste tipo de ferramenta, o próprio analista realiza a formulação do modelo. Exemplos de linguagens de simulação para propósito geral são os seguintes: SLAM II, GPSS e SIMULA para simulação

orientada a processo (lógica associada para seqüência de eventos) e; SIMSCRIPT II para simulação orientada a evento (lógica associada para cada tipo de evento).

Simulação através de computador é uma adição à família da metodologia de modelagens e, talvez ela seja o método mais utilizado atualmente (MITRANI, 1982). Por conseguinte, hoje, a maioria dos modelos de simulação tem sido feitos através do uso de linguagem de simulação em algum "pacote" de modelagem existente. A vantagem deste tipo de ferramenta é que o sistema pode ser reproduzido através de solução simples de modelo. Contudo, a desvantagem é que este processo impõe uma certa estruturação nos modelos. Então, apesar de os "pacotes" de modelagem simplificarem o modelo, existem situações que não podem ser representadas através deles, por possuírem detalhes inerentes ao desempenho do sistema real. Nesses casos, faz-se uso de alguma linguagem computacional de alto nível. No entanto, esta estratégia normalmente não é a melhor em termos de esforço humano dispendido para a resolução do problema, mas o modelo pode ser desenvolvido a nível de detalhes essenciais à reprodução do sistema.

Este é o caso do modelo para o serviço de transporte por táxi proposto neste trabalho, pois este tipo de transporte é o mais sensível à demanda na medida em que oferece serviços individualizados. Então, o modelo de simulação proposto é desenvolvido através de uma linguagem de programação geral em computador que possa descrever as peculiaridades do sistema de táxi. Assim, o modelo computacional é descrito através da linguagem TURBO PASCAL. Pois, a princípio, toda linguagem de programação é uma candidata à linguagem de simulação e; algumas linguagens projetadas para uso geral, tais como FORTRAN, PASCAL, C e MODULA-2, podem ser usadas para escrever programas de simulação (SANTOS, 1994).

3. MODELO PROPOSTO

3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este capítulo trata da formulação do modelo de simulação proposto para o sistema de transporte de passageiros por táxi com viagem exclusiva. De uma forma geral, o modelo proposto é constituído de três módulos: o simulador de demanda, o simulador de oferta e o banco de dados. Estes módulos operam em conjunto para simular um sistema real de táxi, partindo de uma análise de sua demanda e chegando a simulação dos tipos de alternativas de oferta. Conforme explicitado no Capítulo 1, o principal objetivo é fazer um instrumento que sirva para indicar a alternativa de oferta mais adequada para qualquer sistema de transporte por táxi.

No simulador de demanda, inicialmente são consideradas as hipóteses sobre alguns elementos que constituem o problema de demanda para o sistema de transporte por táxi. A demanda por táxi é caracterizada em termos de elementos, tais como componentes (usuário, área urbana e tempo), variáveis e parâmetros, que constituem o modelo matemático do simulador. Posteriormente, é mostrado o modelo de simulação através de um fluxograma, indicando as atividades a serem desempenhadas

pelo programa computacional, que será desenvolvido especificamente para representar a demanda do sistema em estudo.

O simulador de oferta é constituído por três tipos de operações alternativas para o sistema de transporte por táxi: pontos livres, pontos privativos e rádio táxi. Cada uma das alternativas é estudada separadamente, sendo especificadas as hipóteses consideradas para seus problemas particulares. Este simulador tem como objetivo representar o deslocamento de cada usuário do serviço de táxi que chega ao sistema, acompanhando cada veículo no tempo e no espaço. Para isso, utilizou-se a demanda gerada pelo simulador, a qual é atendida por táxi operando sob cada uma das três formas operacionais.

O banco de dados consta de cinco arquivos: chegadas e/ou chamadas de usuários aos pontos de táxis, matriz(es) de origem-destino, matriz(es) de tempos de viagem entre as ligações, matriz de distância de viagem entre as ligações e frotas de táxis nas zonas de tráfego.

Através do modelo proposto pretende-se calcular os indicadores de desempenho ou medidas de mérito do sistema de transportes, que são: distâncias médias de viagem, tempos médios de viagem, taxa média de viagem por táxi, número de passageiros transportados por táxi, índice de ocupação do veículo e índice de utilização do serviço de táxi.

3.2. SIMULADOR DE DEMANDA

Este simulador se caracteriza por representar a demanda real do transporte por táxi, enfatizando as duas primeiras etapas do processo clássico da previsão de demanda por transporte - geração e distribuição de viagens. Cada um dos elementos

necessários à análise de demanda pode apresentar níveis diferentes de importância, mas é necessário que o conjunto de tais elementos retrate bem a realidade da demanda para o serviço de táxi.

Os elementos necessários à análise de demanda por táxi são tratados como dados ou informações imprescindíveis ao processo de simulação da demanda e, são os seguintes: população urbana, área urbana, divisão em zonas de tráfego, densidade demográfica, classe de renda, tipos de atividade, composição da demanda, modo de solicitação da viagem, opções de transporte urbano de passageiros, relação entre número de viagens usando táxi e o número de viagens usando todos os modos disponíveis, porcentagem das viagens realizadas somente pelo modo táxi, porcentagem das viagens realizadas por táxi integrado, modo(s) de integração com o serviço de táxi, existência de táxi para transporte de encomendas, período(s) de pico do transporte por táxi, sentido das viagens por táxi durante o(s) período(s) de pico, motivo das viagens por táxi, principais pólos de geração de viagem por táxi e principais pólos de atração de viagem por táxi.

3.2.1. Hipóteses Adotadas na Simulação de Demanda

Os elementos identificados anteriormente constituem o cenário da demanda do sistema de transporte por táxi num espaço urbano. Todavia, para representá-lo através de um modelo de simulação, é necessário o esclarecimento das hipóteses adotadas para a formulação do simulador de demanda.

A divisão da área urbana é realizada de acordo com o uso do solo, caracterizado pelo tipo de atividade desenvolvida, resultando em um conjunto de zonas de tráfego, classificadas como residencial, comercial, industrial ou de lazer. Este processo diminui o problema de identificar as áreas de atração e de produção de

viagens, que pudesse surgir ao considerar a área urbana como um todo. O tamanho de cada zona exerce influência sobre as medidas de mérito do sistema; pois, quanto menor o tamanho da zona de tráfego, mais precisos serão as distâncias e os tempos médios de viagem entre a origem e o destino.

A solicitação das viagens por táxi é um processo estocástico, pois ela pode ocorrer a qualquer hora do dia, em qualquer zona de tráfego. Assim, as origens das viagens por táxi podem ser representadas através de uma distribuição conhecida de surgimento da demanda, que é influenciada pelo tipo de atividade desenvolvida em cada zona de origem.

No processo da geração de tempos entre chegadas sucessivas de usuários ao sistema de táxi, considera-se, para cada período do dia, as características da demanda que são descritas em termos de distribuição do tempo entre solicitações sucessivas. É importante que o dia seja dividido em vários períodos, de tal forma que a razão média de solicitação por unidade de tempo, em cada período, possa ser considerada constante.

Por um lado, o horário da chegada de usuários ao sistema de táxi é um processo estocástico, que pode ser representado através de uma distribuição de solicitações observadas. Contudo, quando se conhece a flutuação de chegadas de usuários ao longo do dia, torna-se possível calcular o horário da chegada de cada um dos usuários obedecendo à distribuição observada no sistema.

O usuário chega ao sistema através de dois modos de solicitação do serviço: o usuário vai até o ponto de táxi mais próximo da sua zona de origem; ou o usuário telefona para o ponto de táxi mais próximo da sua zona de origem. As viagens solicitadas pelo usuário na rua são consideradas no modelo como se o usuário caminhasse até o ponto de táxi, pois este tipo de solicitação somente ocorre quando o veículo está retornando ao ponto. Então, o segmento de viagem vazia em retorno ao ponto é computado de forma integral quando, na verdade, o táxi só retorna vazio

até o local de solicitação do usuário, o que resulta em um crédito de distância de viagem. Mas, para o segmento de viagem vazia que o táxi teria de se deslocar do ponto até o local em que o próximo usuário se encontra na rua é considerada zero, porque um segmento de igual tamanho já foi computado na viagem de retorno do táxi vazio depois de ter realizado a viagem com o usuário anterior. Assim, as distâncias médias de viagem são compensadas através do somatório dos segmentos de viagem vazia que o táxi realiza para apanhar o usuário na rua e para retornar ao ponto da viagem anterior.

Também, a distribuição dos destinos das viagens por táxi pode ser tratada em termos de probabilidade, pois para cada período do dia o padrão de distribuição de viagens para cada destino pode ser considerado fixo e; as variações aleatórias ocorreriam em torno desse padrão. Então, os destinos das viagens por táxi são simulados através de uma distribuição probabilística conhecida, já que ela é obtida através da matriz origem-destino observada na realidade.

O horário de término de cada viagem por táxi depende do tempo necessário para realizar uma viagem, que por sua vez depende das condições que o tráfego apresenta quando ocorre a solicitação do serviço. Mas, por uma questão de simplicidade, neste trabalho será suposto que o tempo de viagem permanece constante para cada período predeterminado.

A rigor, a distância total de viagem por táxi é uma variável aleatória, uma vez que ela é definida pelo tipo de alternativa de oferta do sistema, que determina o segmento de viagem do táxi vazio para apanhar o usuário e retornar ao ponto. A distância média de viagem por táxi entre um par origem-destino é considerada como a distância de viagem entre os centróides das zonas de origem e destino, respectivamente. Esta consideração pode provocar uma dispersão nos valores de tempos médios de viagem, caso o tamanho das zonas de tráfego seja relativamente

grande. A solução para este tipo de problema é dividir a área urbana em um maior número de zonas de tráfego.

3.2.2. Descrição do Simulador de Demanda

O simulador de demanda, como já foi dito anteriormente, tem o objetivo de simular, para cada zona de solicitação do serviço de transporte por táxi, o momento em que surge tal solicitação, e o destino da viagem. Em virtude da aleatoriedade no surgimento da demanda e também na distribuição de viagens, como também já foi discutido, o simulador de demanda proposto por este trabalho trata em detalhe as peculiaridades da demanda de passageiros de táxi, tais como flutuação da demanda e mudança nas características de distribuição das viagens ao longo do dia. Para tanto, é necessário seguir uma seqüência de atividades que devem ser desenvolvidas durante a realização do processo de simulação da demanda. Esta seqüência de atividades é tratada, em detalhes, ao longo deste item.

Geração de viagens por táxi

Em primeiro lugar, a área urbana é dividida em zonas de tráfego, de acordo com o uso do solo, para possibilitar a identificação das zonas de atração e geração de viagens por táxi.

Ao se dispor da área urbana dividida em zonas de tráfego, pode-se identificar onde e quando ocorre cada solicitação de viagem por táxi. O tempo entre chegadas sucessivas de usuários ao sistema de táxi é uma variável aleatória a ser determinada para identificar onde e quando ocorre cada solicitação de viagem. Por conseguinte, para determinar o tempo entre chegadas sucessivas de usuários ao sistema, é

necessário dispor da técnica de geração de números aleatórios, em virtude do processo de geração ser considerado estocástico. Existem várias técnicas para gerar números aleatórios, tais como: o método do quadrado dos dígitos intermediários, a técnica do produto dos dígitos intermediários, a técnica do multiplicador constante, o método congruencial aditivo e o método congruencial linear (BANKS and CARSON II, 1984). Essas técnicas serão comentadas posteriormente no Apêndice I. Os números aleatórios podem ser gerados, utilizando uma dessas técnicas, através de tabelas, máquinas calculadoras ou computadores. Muitas linguagens de computador têm uma subrotina específica para gerar número aleatórios. Assim, a subrotina utilizada neste trabalho é uma função da própria linguagem de computador utilizada para escrever o modelo computacional, desenvolvido para o sistema de transporte por táxi proposto - a linguagem TURBO PASCAL. Portanto, a técnica de geração de números aleatórios, utilizada por este trabalho, é um processo que faz parte da própria simulação.

Em seguida, o propósito é determinar a geração da variável aleatória a ser analisada, que é o tempo entre chegadas sucessivas de usuários ao sistema de táxi. Existem vários métodos utilizados para determinar a geração da variável aleatória, tais como: o método da transformação inversa, o método da transformação direta da distribuição Normal, o método da convolução, a técnica de aceitação-rejeição e a composição ou método misto (BULGREN, 1982; e BANKS and CARSON II, 1984). Maiores detalhes sobre esses métodos poderão ser vistos no Apêndice II.

Apesar de quando se trabalha com modelos estocásticos, pressupõe-se que o processo de geração ou de distribuição de viagens encontram-se em regime estacionário, o modelo desenvolvido para o sistema de transporte por táxi relaxa esta hipótese porque ele considera que as probabilidades de intervalos entre chegadas sucessivas ao sistema se alteram com o decorrer do tempo. Por conseguinte, o modelo proposto neste trabalho considera uma curva acumulada de chegadas e/ou

chamadas de usuários ao serviço de táxi para cada hora ou período do dia. Este processo leva em consideração também a dispersão dos tempos entre chegadas sucessivas de usuários em torno do valor médio, para cada curva analisada.

O processo para determinar a variável aleatória a ser analisada - a chegada de usuários ao sistema de táxi, estabelece a geração desta variável através da geração de números aleatórios contínuos e uniformemente distribuídos entre 0 e 1. Para tanto, uma função característica de distribuição probabilística deve ser definida para o número aleatório a ser gerado, em relação à chegada de usuário ao sistema de táxi. Essa função é chamada de distribuição acumulada da variável aleatória a ser analisada e, segundo NAYLOR et al. (1971), tem a seguinte forma geral:

$$F(x) = P(X \leq x) = \sum f(x) \quad (3.1)$$

onde:

x é o número aleatório;

X é a variável aleatória; e

$f(x)$ é a frequência ou função de probabilidade de X , definida para valores inteiros de x , tais que:

$$f(x) = P(X = x), \text{ para } x = 0, 1, 2, \dots$$

Este método é bastante geral, pois pode ser usado na simulação de: (1) qualquer distribuição empírica; (2) qualquer distribuição discreta e (3) qualquer distribuição contínua que possa ser aproximada por uma distribuição discreta.

No simulador de demanda proposto por este modelo, a geração da variável aleatória - chegada de usuários ao sistema de táxi, obedece à distribuição observada acumulada de chegadas e/ou chamadas em pontos de táxi. O tempo médio entre

chegadas sucessivas é considerado constante dentro de cada hora ou período do dia, para a distribuição observada de chegadas. Contudo, a variação em torno do valor médio de tempo entre chegadas sucessivas é considerada para a formulação do modelo proposto. Portanto, uma curva acumulada de tempos entre chegadas sucessivas é definida para cada hora ou período do dia, como já foi comentado anteriormente. A Figura 3.1 ilustra esse processo.

Figura 3.1: Curva hipotética de chegadas de usuários

Caso o número de chegadas de usuários ao sistema seja insuficiente para se obter uma curva representativa de frequência observada de chegadas, o modelo oferece a opção de gerar a variável aleatória através da média e desvio padrão do tempo entre chegadas sucessivas de usuários ao sistema.

Geração do tempo entre chegadas sucessivas através de curvas de frequência observada

Para os períodos de tempo em que a simulação de chegadas é feita através de curvas de frequência observada, o processo de geração de chegadas de usuários ao sistema de táxi é realizado seguindo duas etapas, que são mostradas a seguir.

- Observações de chegadas e/ou chamadas de usuários, em pontos de táxis, são realizadas durante um período de tempo predeterminado.

- As curvas de frequência observada são montadas com base na literatura de "Teoria das Filas" sobre curvas de frequência acumulada, que podem ser ilustradas através de diagrama em que se coloca, no eixo das abscissas, os valores da variável aleatória analisada (tempo entre chegadas sucessivas) e, no eixo das ordenadas, as frequências relativas (probabilidades) acumuladas. A Figura 3.2 mostra uma curva hipotética de frequência relativa acumulada observada de chegadas.

Figura 3.2: Curva hipotética de frequência observada de chegadas

Na verdade, o modelo proposto permite calcular o tempo entre chegadas de usuários ao sistema de táxi através da curva de frequência observada de chegadas, definidas por pequenos segmentos de reta, dentro de cada hora ou período simulado, como mostra a Figura 3.2. A curva observada de frequência de chegadas, que é expressa genericamente na forma de S , é representada no modelo através de uma sucessão de segmentos de retas por uma questão de simplicidade. Cada segmento de reta é orientado por dois pontos: o ponto inicial, que é definido pelo par ordenado (limite inferior do intervalo de tempo entre chegadas; limite inferior da probabilidade

acumulada), e o ponto final, que é definido pelo par ordenado (limite superior do intervalo de tempo entre chegadas; limite superior da probabilidade acumulada). Então, para um dado número aleatório gerado entre 0 e 1, o intervalo de tempo entre a chegada do usuário atual e a chegada do usuário anterior ao sistema de táxi é dado pela seguinte fórmula:

$$T = [(P - P_{inf})(T_{sup} - T_{inf}) / (P_{sup} - P_{inf})] + T_{inf} \quad (3.2)$$

onde:

T - intervalo de tempo entre a chegada do usuário atual e a chegada do usuário anterior ao sistema de táxi;

P - probabilidade de ocorrer a chegada do usuário atual ao sistema de táxi;

P_{inf} - limite inferior da probabilidade acumulada de chegadas para aquele intervalo de tempo entre chegadas sucessivas de usuários ao sistema de táxi;

P_{sup} - limite superior da probabilidade acumulada de chegadas para aquele intervalo de tempo entre chegadas sucessivas de usuários ao sistema de táxi;

T_{inf} - limite inferior do intervalo de tempo entre chegadas; e

T_{sup} - limite superior do intervalo de tempo entre chegadas.

Assim, a reprodução do padrão de chegadas de usuários ao sistema de táxi, observado no sistema real, é feita pelo modelo através da geração de um número aleatório que corresponde à probabilidade acumulada de chegadas de usuários ao sistema. Entrando com o valor da probabilidade acumulada na curva de frequência observada de chegadas, determina-se, através da Equação 3.2, o valor do tempo entre a chegada do usuário atual e a chegada do usuário anterior. Desta forma, o modelo

proposto simula todas as chegadas e/ou chamadas de usuários de táxis em cada zona de tráfego, para cada hora ou período do dia em que a simulação de chegadas é feita através de curvas de frequência observada.

Geração de tempos entre chegadas sucessivas através da média e desvio padrão do tempo entre ocorrências

Para os períodos de tempo em que a simulação de chegadas é feita através da média e desvio padrão do tempo entre ocorrências, o processo de geração de chegadas de usuários ao sistema de táxi é também realizado seguindo duas etapas, que são mostradas a seguir.

- Observações de chegadas e/ou chamadas de usuários, em pontos de táxis, são realizadas durante um período de tempo predeterminado.
- A média e o desvio padrão do tempo entre chegadas sucessivas de usuários ao sistema de táxi são calculados, em relação aos dados observados, para cada hora ou período do dia, na zona de tráfego em que as ocorrências de chegadas não são suficientes para definir uma curva de frequência acumulada.

A reprodução do padrão de chegadas observado no sistema real de táxi é feita pelo modelo proposto, através da geração de um número aleatório que corresponde à variável padronizada (Z), correspondente à variável aleatória com distribuição Normal (X). Com o valor de Z , calcula-se a área correspondente à função ou distribuição de densidade normal padronizada ($f(z)$). Entrando com o valor calculado da área em um arquivo embutido no modelo computacional, que contém valores de área sob a curva Normal padronizada de $(-z)$ a (z) , obtém-se o valor z da variável padronizada Z , que,

segundo SPIEGEL (1978), é o escore padronizado. A partir daí, calcula-se o valor de $F(Z)$, a função de distribuição correspondente a $f(z)$, que corresponde ao valor do tempo entre a chegada do usuário atual e a chegada do usuário anterior. Desta forma, o modelo proposto simula todas as chegadas e/ou chamadas de usuários de táxis em cada zona de tráfego, para cada hora ou período do dia em que a simulação de chegadas é feita através da média e desvio padrão do tempo entre ocorrências no sistema de táxi.

Em consequência, o horário de início de cada viagem de táxi gerada é identificado através do horário de chegada do usuário, calculado pelo processo de geração de viagem mostrado anteriormente, mais o tempo de espera do usuário para realizar a viagem. Isto quer dizer que o horário de início da primeira viagem é exatamente o horário de chegada do primeiro usuário mais o tempo de espera para realizar a primeira viagem. O horário de início da segunda viagem é dado pelo horário de chegada do segundo usuário mais o tempo de espera para realizar a segunda viagem. E, assim sucessivamente, até o horário de término da simulação.

Distribuição de viagens por táxi

A zona de destino de cada viagem também é reproduzida pelo simulador de demanda, através da geração de um número aleatório. A geração desse número aleatório é um processo que faz parte também da própria simulação, semelhante à técnica de geração do número aleatório para a geração de viagens.

O próximo passo é determinar o destino de cada viagem que ocorre no sistema de táxi. A zona de destino da viagem é a variável aleatória que se quer determinar nesta fase de simulação da demanda. O processo para determinar esta variável é realizado através da geração de números aleatórios contínuos e

uniformemente distribuídos entre 0 e 1. Para isso, uma função característica de distribuição probabilística deve ser definida para o número aleatório a ser gerado, em relação à distribuição das viagens por táxi. Assim, a geração da variável aleatória - zona de destino da viagem por táxi, segue uma distribuição observada de probabilidade acumulada de ocorrer um dado destino, que é representada pela linha da matriz observada de origem-destino referente à origem daquela viagem por táxi.

A matriz observada de origem-destino é constituída por linhas, que representam as origens das viagens por táxi, e colunas, que definem a zona de destino determinada através de percentagem acumulada, e é procedente de uma matriz origem-destino do número de viagens por táxi em cada zona de tráfego. Tal matriz do número de viagens é caracterizada de forma semelhante à matriz hipotética mostrada através da Figura 3.3.

O/D	1	2	3	...	j	...	n	total
1	N_{11}	N_{12}	N_{13}	...	N_{1j}	...	N_{1n}	N_1
2	N_{21}	N_{22}	N_{23}	...	N_{2j}	...	N_{2n}	N_2
3	N_{31}	N_{32}	N_{33}	...	N_{3j}	...	N_{3n}	N_3
...	...	...	...	...	...	...	...	...
i	N_{i1}	N_{i2}	N_{i3}	...	N_{ij}	...	N_{in}	N_i
...	...	...	...	...	...	...	...	...
n	N_{n1}	N_{n2}	N_{n3}	...	N_{ni}	...	N_{nn}	N_n
total	N_1	N_2	N_3	...	N_j	...	N_n	N

Figura 3.3: Matriz hipotética do número de viagens entre zonas de tráfego

A idéia básica para definir a matriz observada de origem-destino da probabilidade acumulada da distribuição de viagens por táxi é trabalhar a matriz O/D do número de viagens entre zonas de tráfego, onde N_{ij} é o número de viagens da

origem i para o destino j , referente a um período do dia, de maneira a possibilitar que o número aleatório gerado indique um dado destino na mesma proporção de frequência da distribuição observada. A matriz hipotética de origem-destino da probabilidade acumulada da distribuição de viagens, mostrada através da Figura 3.4, ilustra esta idéia.

O/D	1	2	3	...	j	...	n
1	N_{11}/N_1 $= P_{11}$	(N_{12}/N_1) $+ P_{11}$ $= P_{12}$	(N_{13}/N_1) $+ P_{12}$ $= P_{13}$	...	(N_{1j}/N_1) $+ P_{13} + \dots$ $= P_{1j}$	...	(N_{1n}/N_1) $+ P_{1j} + \dots$ $= P_{1n}$
2	N_{21}/N_2 $= P_{21}$	(N_{22}/N_2) $+ P_{21} =$ P_{22}	(N_{23}/N_2) $+ P_{22} =$ P_{23}	...	(N_{2j}/N_2) $+ P_{23} + \dots$ $= P_{2j}$	...	(N_{2n}/N_2) $+ P_{2j} + \dots$ $= P_{2n}$
3	N_{31}/N_3 $= P_{31}$	(N_{32}/N_3) $+ P_{31}$ $= P_{32}$	(N_{33}/N_3) $+ P_{32}$ $= P_{33}$	...	(N_{3j}/N_3) $+ P_{33} + \dots$ $= P_{3j}$	...	(N_{3n}/N_3) $+ P_{3j} + \dots$ $= P_{3n}$
...	...	...	...	...	...	...	...
i	N_{i1}/N_i $= P_{i1}$	(N_{i2}/N_i) $+ P_{i1}$ $= P_{i2}$	(N_{i3}/N_i) $+ P_{i2}$ $= P_{i3}$	...	(N_{ij}/N_i) $+ P_{i3} + \dots$ $= P_{ij}$	...	(N_{in}/N_i) $+ P_{ij} + \dots$ $= P_{in}$
...	...	...	...	...	...	...	...
n	N_{n1}/N_n $= P_{n1}$	(N_{n2}/N_n) $+ P_{n1}$ $= P_{n2}$	(N_{n3}/N_n) $+ P_{n2}$ $= P_{n3}$	...	(N_{nj}/N_n) $+ P_{n3} + \dots$ $= P_{nj}$	...	(N_{nn}/N_n) $+ P_{nj} + \dots$ $= P_{nn}$

Figura 3.4: Matriz hipotética de origem-destino da probabilidade acumulada da distribuição de viagens

As viagens geradas na zona i , durante um determinado período do dia, são destinadas às outras zonas conforme mostra a matriz O/D do período. Isto significa que a parcela N_{ij}/N_i das viagens geradas na zona i é destinada à zona j . Esta parcela é igual a P_{ij} que significa a probabilidade acumulada das viagens geradas na zona i serem destinadas para a zona j .

O processo da simulação de distribuição de viagens por táxi, através da matriz de origem-destino, é realizado seguindo duas etapas, que são mostradas a seguir.

- Observações sobre origem-destino de viagens, em pontos de táxi, são realizadas durante um período de tempo predeterminado.

- As matrizes de probabilidade acumulada da distribuição observada de origem-destino são montadas com base na literatura de "Teoria das Filas" sobre curvas de frequência acumulada, que pode ser ilustrada através de diagrama em que se coloca, no eixo das abscissas, os números identificadores de cada zona de destino e, no eixo das ordenadas, as frequências (probabilidades) acumuladas. A Figura 3.5 mostra uma curva hipotética de frequência acumulada observada de destino de viagens partindo de uma certa origem i . Assim, cada linha da matriz é representada por uma curva observada de percentagem acumulada de destino, cujas viagens têm origem na zona i correspondente à linha da matriz.

Figura 3.5: Curva hipotética de frequência observada de destinos para viagens geradas numa zona de tráfego i

A reprodução do padrão de distribuição de viagens observado na prática é feita, pelo modelo, através da geração de um número aleatório que corresponde à probabilidade acumulada da zona de destino j . Entrando com esse valor de probabilidade acumulada na curva de frequência observada de destinos de viagem por táxi, determina-se o número da zona de destino j para a viagem atual. Desta forma, o

modelo proposto simula todas as zonas de destino dos usuários de táxi gerados em cada zona de tráfego i , para cada hora ou período do dia em que são definidas as matrizes de frequência acumulada com que cada destino é escolhido na prática.

Depois de simulado o destino da viagem realizada através do serviço de táxi, pode-se, portanto, determinar o horário de término de tal viagem. O horário de término de cada viagem por táxi é identificado no modelo através do horário de início da viagem, que já foi explicado anteriormente, mais o tempo necessário para realizar o serviço solicitado pelo usuário do sistema. Isto quer dizer que o horário de término da primeira viagem é exatamente o horário de início da primeira viagem mais o tempo necessário para realizar a primeira viagem. O horário de término da segunda viagem é dado pelo horário de início da segunda viagem mais o tempo necessário para realizar a segunda viagem. E, assim sucessivamente, até o final da simulação.

Conhecendo-se as origens e os destinos das viagens realizadas por táxi, pode-se determinar agora as distâncias médias de viagem entre as ligações. Assim, as distâncias médias de viagem entre cada par origem-destino são calculadas, no modelo proposto, através da média aritmética de todas as distâncias de viagem realizadas entre aquele par origem-destino.

E, por fim, tendo-se também o conhecimento sobre as origens e os destinos das viagens realizadas pelo serviço de táxi, é possível calcular os tempos médios de viagem entre as ligações. Da mesma forma que são calculadas as distâncias médias de viagem, calcula-se também os tempos médios de viagem entre cada par origem-destino, através da média aritmética de todos os tempos de viagem realizadas entre aquele par origem-destino.

3.2.3. Modelo Computacional do Simulador de Demanda

Ao iniciar a construção de um modelo computacional, deve-se definir as condições de partida e de processamento do programa, assim como as condições de parada da simulação.

A condição de partida da simulação para o modelo desenvolvido neste trabalho considera que o instante inicial de simulação é igual ao início do período de tempo que se quer simular. Por exemplo, se o período de tempo que se quer simular inicia às 6:00 horas e termina às 24:00 horas, o tempo zero da simulação é exatamente às 6:00 horas.

Quanto ao processamento do programa, dois mecanismos básicos são utilizados para representar o escoamento do tempo em um modelo de simulação: o método do incremento uniforme e o método do incremento variável. No primeiro, o modelo computacional é construído de tal maneira que a simulação avança através do tempo em incrementos uniformes; enquanto que no segundo método a simulação avança em passos incrementais desiguais, e a grandeza de cada passo é justamente o tamanho do intervalo entre os eventos.

Em se tratando do processamento do programa computacional desenvolvido para simular a demanda de transporte por táxi, o método utilizado é aquele de incremento uniforme. Assim, a simulação avança através do tempo de acordo com cada unidade de tempo predeterminada, que é dada por minuto; pois é a fração de tempo adequado para representar o funcionamento de um sistema real do serviço de transporte por táxi. Isto quer dizer que, para cada minuto do tempo de simulação, há um comando para perguntar se chegou algum usuário no sistema. Cada vez que chega

um usuário ao sistema de táxi, o modelo identifica as zonas de origem e de destino daquela viagem.

A condição de parada do processo de simulação no modelo computacional desenvolvido neste trabalho, considera que o instante final de simulação é alcançado quando a mesma avança, através da unidade de tempo definida anteriormente, até atingir o tempo determinado pelo final do período que se quer simular. Para o exemplo citado anteriormente, o tempo final da simulação seria alcançado quando ela representasse um intervalo de 18 horas, que é exatamente o tempo necessário para simular o período de 6:00 às 24:00 horas.

A Figura 3.6 mostra, através de um fluxograma, como se processa o modelo computacional desenvolvido para o simulador de demanda. O programa de computador aqui utilizado foi escrito na linguagem TURBO PASCAL, de forma a desenvolver cada uma das operações mostradas pelo fluxograma e, é apresentado através do Apêndice III.

Figura 3.6: Fluxograma do simulador de demanda

3.3. SIMULADOR DE OFERTA

Este simulador se caracteriza por representar o serviço de oferta para o sistema de táxi, realizado pelo processo de coletar o usuário na origem da viagem e transportá-lo até o destino solicitado, através de cada uma das alternativas de oferta para o serviço de táxi, consideradas neste trabalho.

Para cada uma das alternativas de oferta considerou-se um determinado procedimento de operação. Assim, foram elaborados três submodelos que são apresentados de forma separada, com o propósito de mostrar as peculiaridades de oferta existentes.

A seleção da alternativa mais adequada para o sistema de táxi, em qualquer cidade, depende de elementos que são função da maneira como os táxis são operados na área urbana. Esses elementos, portanto, são referentes ao custo do transporte por táxi e ao nível do serviço oferecido à comunidade. Quanto ao custo do transporte por táxi, os elementos que o definem são: tecnologia utilizada, frota total do sistema, quilometragem percorrida pelos veículos e horas de veículos em operação, ou seja, o tempo que os veículos gastam para atender a demanda pelo serviço. Em relação ao nível do serviço de táxi, os elementos são os seguintes: acessibilidade física, disponibilidade do serviço para as solicitações, confiabilidade, conforto, tempo de espera (tanto da parte do motorista para realizar uma viagem, quanto da parte do usuário para ser atendido), tempo no interior do veículo, tempo total de viagem, fluidez no deslocamento e segurança.

A parcela de custo do serviço de transporte por táxi referente à frota total do sistema, inicialmente apresenta valor igual para as três alternativas de oferta consideradas; caso, depois de realizada uma análise de sensibilidade, o número de

veículos possa ser diferenciado em cada uma das situações, então a parcela de custo referente à frota total passa a ser variável em função do tipo de oferta do serviço de táxi. Os demais elementos que definem o custo de transporte por táxi - tecnologia utilizada, quilometragem percorrida e horas de veículos em operação - são função específica de cada tipo de oferta do serviço e, portanto, serão comentados para as três alternativas separadamente.

O conforto para o usuário no sistema de táxi é um elemento que se refere ao bem estar do usuário e a condição de operação do serviço, da mesma forma que ocorre em outros sistemas de transporte de passageiros; assim, o conforto depende das condições das vias, da idade ou estado de conservação do veículo, da habilidade do motorista e do tipo de operação do serviço. A fluidez no deslocamento é determinada pelo número de interrupções durante a viagem, que depende das condições das vias, do volume de tráfego e da manutenção dos táxis. A segurança do serviço de táxi é função de dois fatores: falhas mecânicas ou falhas de projeto das vias; além disso, é função também da ocorrência de assaltos dentro do veículo e da negligência do motorista. Os demais elementos que definem o nível de serviço serão comentados e determinados, quando pertinentes, para as três alternativas de oferta consideradas pelo modelo - pontos livres, pontos privativos e rádio táxi, dentro de cada item específico.

3.3.1. Operação do Serviço de Táxi com Pontos Privativos

Este tipo de alternativa de oferta para o sistema de táxi possui a característica da vinculação carro-ponto, ou seja, o táxi volta ao ponto de origem depois de realizar o serviço. O processo integral deste tipo de operação, desde a forma como o usuário solicita o serviço até a chegada ao ponto final da viagem do mesmo, é descrito de

maneira segmentada, incluindo as hipóteses adotadas no modelo para esta alternativa, no decorrer deste item.

A tecnologia utilizada na alternativa com pontos privativos é basicamente composta por veículos e pontos de apoio aos táxis, onde estes estacionam no início do período de trabalho ou após realizar uma viagem. O ponto de táxis geralmente possui aparelho de telefone para atender às chamadas de usuários que não se deslocam até o ponto.

A quilometragem total percorrida pelos veículos quando se opera através de pontos privativos é dada pelo somatório de todas as distâncias percorridas para apanhar o usuário, realizar a viagem solicitada e voltar para o ponto onde é licenciado. Assim, os veículos percorrem uma parcela da quilometragem total quando estão vazios, esta parcela da quilometragem é praticamente igual à parcela que os veículos percorrem quando estão ocupados com usuários. Neste caso, a quilometragem efetiva, que é aquela percorrida somente com usuários, é praticamente igual a metade da quilometragem total percorrida.

O somatório das horas de veículo em operação com pontos privativos é igual ao tempo gasto para apanhar o usuário, realizar a viagem solicitada e retornar ao ponto onde o táxi é licenciado. Da mesma forma que a quilometragem total percorrida, o tempo total que os veículos gastam para atender a demanda é composto das parcelas de tempo ocioso e efetivo, que são praticamente iguais.

A acessibilidade física, que será aqui definida como sendo a distância ou tempo de acesso ao sistema, depende da forma como o usuário solicita o serviço. No caso em que o usuário vai até o ponto de táxi, adotou-se a distância de caminhada até o ponto. E no caso em que a solicitação é feita por telefone, convencionou-se que é o tempo decorrido entre a solicitação e a chegada do táxi.

O modelo proposto para a alternativa de operação do serviço de táxis com pontos privativos identifica o horário da solicitação do usuário pelo serviço e a zona

de tráfego em que o usuário realizou a solicitação. Caso essa zona de tráfego não possua ponto de táxis, o modelo considera que o usuário caminha ou telefona para a zona de táxi mais próxima do local onde ele se encontra e entra na fila para ser atendido.

Em seguida à solicitação do usuário, é levada em consideração a disponibilidade do serviço de táxi. Geralmente, o que acontece em um sistema não planejado é que o usuário solicita o serviço e não há táxi disponível, este fato contradiz à característica do sistema de que o serviço é flexível no tempo e no espaço.

Conseqüentemente, o tempo de espera, por parte do usuário, pelo serviço de táxi está relacionado à disponibilidade de veículos. Pois, mesmo que o usuário caminhe até o ponto de táxi para solicitar o serviço, se não houver táxi disponível o usuário terá de esperar o próximo táxi que retorna. Para o usuário que solicita o serviço de táxi através de telefone, o tempo de espera pelo serviço é composto pelas frações de tempo necessário para o táxi chegar ao local onde o serviço é solicitado e de tempo necessário para que o serviço se torne disponível; esta última fração pode apresentar valor zero.

O modelo proposto para oferta com pontos privativos considera que o táxi após realizar uma viagem solicitada, retornará ao ponto onde é licenciado e estacionará na última posição da fila de táxis. Então, o tempo de espera, por parte do motorista para realizar uma viagem, é uma função da frota total do sistema e da relação entre o número de solicitações e o número de veículos em cada ponto. Considerando que o usuário não modifique sua escolha modal enquanto estiver esperando pelo serviço, quanto menor o número total de veículos no sistema, menor será o tempo de espera do motorista para realizar uma viagem. Entretanto, o número total de táxis e o número de veículos em cada ponto devem ser programados para realizar o serviço de modo que, de um lado, o usuário não espere muito pelo serviço,

e de outro, o sistema não seja superdimensionado, o que provoca tempo de espera muito grande por parte do motorista para realizar uma viagem.

Assim, na operação com pontos privativos, o atendimento é feito em ordem prioritária de chegadas e o serviço é prestado em ordem de disponibilidade; ou seja, o primeiro usuário que chega ou telefona para o ponto é atendido pelo primeiro táxi disposto em fila, ou espera o primeiro táxi que retorna.

Depois que o usuário do serviço de táxi obtém o acesso ao sistema, pode-se calcular o tempo no interior do veículo. Este tempo é traduzido como o tempo de viagem propriamente dito, que depende das condições de tráfego ao longo da hora ou período do dia analisado.

Posteriormente, o tempo total de viagem pode ser calculado. Para a operação com pontos privativos, o tempo total de viagem é constituído por três parcelas: o tempo necessário para coletar o usuário no local solicitado, o tempo gasto para transportar o usuário da origem ao destino de viagem e o tempo gasto para percorrer o caminho de volta ao ponto onde é licenciado.

Finalmente, é calculada a distância de viagem redonda para cada serviço realizado pelo sistema de táxi. Esta distância também é determinada por três parcelas: a distância de viagem vazia para coletar o usuário, que pode apresentar valor zero se o usuário caminha até o ponto de táxi; a distância percorrida para transportar o usuário da origem ao destino solicitado e a distância de viagem vazia do táxi para retornar ao ponto onde é licenciado.

Resumidamente, a alternativa de oferta do serviço de táxi com pontos privativos é processada da seguinte maneira:

- (1) Característica: vinculação carro-ponto.
- (2) Solicitação: no ponto ou por telefone.
- (3) Tipo de atendimento: fila com disciplina FIFO (First In First Out).

(4) Tipo de prestação de serviço: primeiro táxi disponível em fila.

(5) Destino do veículo: ponto onde o táxi é licenciado.

O simulador de oferta do serviço de táxi com pontos privativos, também considera que o tempo inicial de simulação é igual ao início do período de tempo que se quer simular. De maneira similar ao modelo de demanda, o processamento do programa é dado pelo escoamento do tempo com incremento uniforme, fazendo com que a simulação avance através do tempo a cada minuto.

A condição de parada da simulação é dada quando o táxi, que realiza a viagem do último usuário, chega ao ponto de destino. Assim, o instante final de simulação para o simulador de oferta não é necessariamente coincidente com o instante final de simulação para o simulador de demanda; pois se um usuário solicitar o serviço de táxi no último minuto do tempo de simulação, o instante final de simulação para o simulador de oferta será igual ao instante final de simulação para o simulador de demanda mais o tempo de viagem redonda do táxi que realizará o serviço solicitado.

Com as informações a respeito da demanda em cada ponto das zonas de tráfego e o tempo médio de viagem, através do modelo é possível informar-se se o próximo usuário que solicitará o serviço encontrará algum veículo disponível para realizar a viagem, ou quanto tempo os veículos de cada ponto de táxi ficarão ociosos. A Figura 3.7 mostra como se processa o simulador de oferta da operação de táxis com pontos privativos através de um fluxograma e, o programa de computador está mostrado no Apêndice III juntamente com o programa para simular a demanda.

Figura 3.7: Fluxograma do simulador de oferta para ponto privativo

3.3.2. Operação do Serviço de Táxis com Pontos Livres

Por definição, ponto livre é aquele em que é permitido o estacionamento de qualquer táxi. Então, este tipo de alternativa considera que o veículo está, inicialmente, no ponto onde ele é licenciado e que oferece seu serviço obedecendo à fila de disponibilidade. Após realizar a viagem solicitada pelo usuário, o táxi estacionará no ponto mais próximo ao destino do mesmo, colocando-se na última posição da fila. Caso o tempo de espera para apanhar o próximo passageiro lhe pareça excessivo, ele se dirige a outro ponto, o mais próximo deste e analisa a espera para realizar uma viagem; caso esta também lhe pareça excessiva, o motorista se dirige ao próximo ponto e, assim sucessivamente.

Desta forma, no modelo proposto considera-se que o motorista estacionará no ponto em que o tempo de espera para realizar uma viagem seja menor ou igual a uma determinada duração. Essa duração pode ser o tempo médio de espera no sistema para aquele período. Caso, naquele instante final da viagem, nenhum ponto de táxi apresente tempo de espera menor ou igual ao do sistema, o táxi retornará ao ponto de origem do mesmo. Para tanto, conhecendo-se a demanda para aquele período, naquele ponto, o motorista raciocinaria tendo-se em conta o tempo médio que decorre entre chegadas sucessivas de passageiros e o número de táxis na fila. Assim, está implícito no modelo que os motoristas têm conhecimento do comportamento da demanda ao longo do dia e para cada ponto. Esta hipótese parece razoável, uma vez que tal informação é vital para o bom desempenho de cada motorista quando se tratar desta forma de operação.

Na prática, cada motorista pode determinar uma medida própria de tomada de decisão para a permanência ou transferência para outro ponto. Um motorista pode decidir que ficará no ponto de destino desde que ele sinta que o tempo de espera por

um usuário não ultrapassará o tempo médio de espera no sistema, para aquele período do dia, acrescentado de Δt (variação de tempo) de tolerância. Mas, como o valor da variação de tempo (Δt) depende da característica comportamental de cada motorista, e o modelo necessita de uma tomada de decisão para sua operação, então na elaboração do modelo foi considerada a hipótese de que o motorista se dispõe a ficar num ponto se ele sente que não esperará além do tempo médio de espera no sistema ($\Delta t = 0$). Na medida em que estudos futuros esclarecerem o comportamento dos motoristas, as conclusões podem ser incorporadas no presente modelo.

A tecnologia utilizada na alternativa de operação com pontos livres é semelhante àquela utilizada com pontos privativos. Em se tratando da quilometragem total percorrida; neste tipo de alternativa do serviço, a quilometragem efetiva apresenta valor maior do que a quilometragem ociosa porque os veículos não percorrem exatamente a mesma distância para retornar ao ponto. Embora, em algumas viagens o táxi percorre uma maior distância para estacionar no seu ponto de destino, mas esta parcela é compensada com a pequena distância de retorno, no caso em que o táxi fica no ponto de táxi mais próximo ao destino do usuário.

Da mesma forma, o somatório das horas de veículo em operação com pontos livres é composto por parcelas diferentes de tempos ocioso e efetivo, sendo a parcela deste último maior do que a do primeiro. Isto é devido ao fato de que os veículos, de uma maneira geral, trafegam vazios durante menos tempo, para atender a mesma demanda, do que na alternativa com pontos privativos.

As considerações sobre a acessibilidade física, a disponibilidade do serviço de táxi, os tempos de espera para o usuário e para o motorista e, o tempo no interior do veículo são determinadas para a alternativa de oferta com pontos livres, seguindo as mesmas diretrizes que foram comentadas para a alternativa de táxi com pontos privativos.

O tempo total de viagem para a alternativa de oferta do serviço de táxi com pontos livres é calculado através de três parcelas, que são: o tempo necessário para o táxi coletar o usuário no local solicitado, o tempo necessário para transportar o usuário da origem ao destino do mesmo e, o tempo consumido no deslocamento do táxi entre o destino do usuário e o ponto que o motorista estacionará seu veículo.

Conseqüentemente, a distância total de viagem para a alternativa de oferta de táxi com pontos livres também é a soma de três parcelas: a distância percorrida para coletar o usuário, que pode apresentar valor zero se o usuário caminhar até o ponto de táxi; a distância percorrida para transportar o usuário da origem ao destino solicitado e a distância percorrida para alcançar o ponto de táxi onde o motorista estacionará o veículo.

Assim, de uma forma simplificada, o modelo proposto para simular a alternativa de oferta do serviço de táxi com pontos livres é processado da seguinte maneira:

- (1) Característica: o veículo inicia o serviço onde é licenciado.
- (2) Solicitação: no ponto ou por telefone.
- (3) Ordem de atendimento: fila com disciplina FIFO.
- (4) Ordem de prestação do serviço: ordem de chegada do táxi no ponto.
- (5) Experiência do motorista: conhecimento do comportamento da demanda.
- (6) Destino do veículo: ponto com menor ou igual tempo de espera em relação ao tempo de espera por parte do motorista no sistema.

As considerações sobre a condição de partida, o processamento do programa e a condição de parada da simulação para o modelo desenvolvido, no caso da alternativa de oferta do serviço de táxi com pontos livres, seguem as mesmas diretrizes determinadas no modelo computacional desenvolvido para a alternativa de oferta com pontos privativos.

De acordo com esse procedimento, o modelo proposto oferece subsídios para simular a quantidade de veículos que não retornam ao ponto de origem e, também identificar o ponto de destino desses veículos. A Figura 3.8 mostra como se processa o simulador de oferta para a alternativa do serviço de táxi com pontos livres através de um fluxograma e, o programa de computador é apresentado no Apêndice IV.

Figura 3.8: Fluxograma do simulador de oferta para ponto livre

3.3.3. Operação do Serviço com Rádio Táxi

A alternativa de oferta com rádio táxi considera que o usuário solicita o serviço apenas telefonando para uma central de rádio. Neste caso, a chegada é considerada solicitação instantânea do serviço por telefone, ou solicitação antecipada por telefone com hora marcada.

Esta alternativa também considera que o atendimento é feito em ordem prioritária de chegada. Então, o serviço é prestado pelo veículo que estiver mais próximo da origem do usuário. Porém, o veículo mais próximo não é necessariamente aquele que estiver mais perto do local da solicitação, e sim, aquele apto a realizar a viagem de coleta do usuário em menor tempo. Por exemplo, se um táxi estiver próximo ao local de chamada mas se estiver realizando um serviço, seu tempo de viagem de coleta será o tempo necessário para completar a viagem do passageiro em trânsito mais o tempo de viagem entre o destino desse passageiro e a origem do passageiro que está esperando. Portanto, em alguns casos, o tempo de viagem para um veículo ocioso, que está distante, para coletar um usuário pode ser menor do que o tempo de viagem para um veículo ocupado, mas que está próximo ao local de solicitação.

A central de rádio funciona para identificar, através de telefone, onde existe um usuário que está solicitando o serviço e o horário da solicitação. Depois, a central localiza, através de rádio, o veículo que está mais próximo ao local de solicitação do usuário e aloca o usuário àquele veículo. Depois de realizada a viagem solicitada pelo usuário, a central de rádio envia o táxi para o ponto mais próximo do destino do usuário; ou o táxi é alocado para realizar um outro serviço, caso já exista um outro usuário esperando pelo serviço. Desta forma, para a alternativa de oferta com rádio

táxi, o usuário só espera pelo serviço se não houver nenhum táxi disponível no sistema no momento da solicitação.

Então, do ponto de vista da simulação, a alternativa com rádio táxi pode ser considerada como um caso especial da alternativa de oferta com pontos livres, em que o motorista se dirige para o ponto de táxi, onde o tempo de espera por um usuário será o mínimo.

A tecnologia utilizada na alternativa de oferta com rádio táxi é composta, além dos veículos e dos pontos de apoio aos táxis, da central de controle, incluindo o equipamento de transmissão e recepção por rádio, e o aparelho de rádio instalado em cada veículo.

Quanto à quilometragem total percorrida pelos veículos na forma de operação com rádio táxi, a parcela de quilometragem ociosa é ainda menor do que na operação com pontos livres. Pois, ao invés dos veículos percorrerem vazios até o ponto de menor espera por viagem, a central de controle informa, através de rádio, o ponto de táxi que o motorista deverá estacionar.

De forma semelhante à quilometragem total percorrida, o somatório das horas de veículo em operação com rádio táxi apresenta parcela de tempo ocioso menor do que na alternativa com pontos livres. Isto se deve ao fato de que os veículos não desperdiçam tempo procurando ponto de menor espera para realizar viagem, já que a central de rádio informa o seu destino.

As considerações sobre a acessibilidade física, a disponibilidade do serviço de táxi, os tempos de espera para o usuário e para o motorista e, o tempo no interior do veículo são determinadas para a alternativa de oferta com rádio táxi, seguindo as mesmas diretrizes adotadas para as duas alternativas de oferta comentadas anteriormente.

A confiabilidade é um elemento levado em consideração na alternativa de oferta com rádio táxi, pois a solicitação pelo serviço pode ser realizada

antecipadamente através de telefone. Desta forma, o serviço de táxi deve oferecer confiança ao usuário de que o serviço será cumprido no horário solicitado pelo mesmo. Contudo, a confiabilidade que o serviço de táxi oferece pode ser influenciada, entre outros fatores, pelas dimensões das vias e pelas condições de tráfego, pois não existem vias exclusivas para o transporte por táxi e geralmente não existe permissão para que o táxi use vias exclusivas de ônibus urbano. Em certos lugares, o táxi é permitido trafegar em algumas facilidades prioritárias, tal como na faixa de HOV (High Occupancy Vehicle) do corredor "Central Artery / Third Harbor Tunnel" da cidade de Boston (EUA) (MILLER, 1991).

O tempo total de viagem para a alternativa de oferta com rádio táxi é calculado pelo somatório das seguintes parcelas: o tempo necessário para o veículo coletar o usuário no local solicitado, o tempo necessário para transportar o usuário da origem ao destino do mesmo e, o tempo consumido no deslocamento do táxi entre o destino do usuário e o ponto que a central de rádio informar ao motorista como sendo o seu ponto de destino.

De forma semelhante, a distância total de viagem também é calculada através da soma das seguintes parcelas: a distância que o táxi percorre vazio para coletar o usuário no local solicitado, que pode apresentar o valor zero se o usuário caminhar até o ponto de táxi; a distância de viagem que o veículo percorre para transportar o usuário da origem ao destino do mesmo e; a distância que o veículo percorre vazio para alcançar o ponto determinado pela central de rádio.

O modelo proposto para simular a alternativa de oferta com rádio táxi se processa, de forma simplificada, da seguinte maneira:

- (1) Característica: o veículo inicia o serviço onde é licenciado.
- (2) Solicitação: por telefone.
- (3) Ordem de atendimento: ordem de chegada dos usuários.
- (4) Prestação do serviço: por táxi apto a realizar a viagem de coleta do usuário em menor tempo.
- (5) Destino do veículo: ponto mais próximo determinado pela central de rádio.

As considerações sobre a condição de partida, o processamento do programa e a condição de parada da simulação para o modelo desenvolvido sobre a alternativa de oferta do serviço com rádio táxi, seguem as mesmas diretrizes determinadas no modelo computacional desenvolvido para as alternativas de oferta com pontos privativos e com pontos livres.

Para o tipo de alternativa de oferta com rádio táxi, em que a central de rádio tem todo o controle sobre os pontos de permanência dos veículos, o modelo pode ser usado para simular o veículo mais provável de coletar o usuário através de chamadas telefônicas. A Figura 3.9 mostra como se processa o simulador de oferta para a alternativa de operação do serviço com rádio táxi, através de um fluxograma, e o programa de computador é apresentado no Apêndice V.

Figura 3.9: Fluxograma do simulador de oferta para rádio táxi

3.4. BANCO DE DADOS

O banco de dados para o modelo de simulação proposto é composto por cinco arquivos, como já foi comentado anteriormente, que são: arquivos de chegadas e de matrizes de frequência de probabilidades acumuladas observadas de origem-destino, para o simulador de demanda e; arquivos de matrizes de tempos e distâncias de viagem e frota, para o simulador de oferta.

Os dados utilizados para simular o modelo proposto para o sistema de transporte por táxi são coletados através de pesquisa realizada pelo preenchimento de um formulário, mostrado na Figura 3.10. Esse formulário é preenchido pelos próprios motoristas, ao fazer cada viagem, e contém as seguintes informações:

- (1) Hora e quilometragem de saída do táxi no ponto;
- (2) Hora e quilometragem de retorno do táxi para o ponto;
- (3) Tipo de solicitação da viagem;
- (4) Local de embarque do passageiro; e
- (5) Local de desembarque do passageiro.

PESQUISA SOBRE O SISTEMA DE TRANSPORTE POR TÁXI

CHEGADA NO SERVIÇO: HORA _____ QUILOMETRAGEM _____
 SAÍDA PARA O ALMOÇO: HORA _____ QUILOMETRAGEM _____
 VOLTA DO ALMOÇO: HORA _____ QUILOMETRAGEM _____
 SAÍDA DO SERVIÇO: HORA _____ QUILOMETRAGEM _____

PARA LOCAL DE EMBARQUE E DESEMBARQUE, CITE O NOME DA RUA,
 DO BAIRRO OU UM LUGAR CONHECIDO NAS PROXIMIDADES.

SAÍDA DO PONTO: HORA _____ QUILOMETRAGEM _____
 VOLTA AO PONTO: HORA _____ QUILOMETRAGEM _____
 VIAGEM SOLICITADA: () NO PONTO
 () NA RUA
 () POR TELEFONE

LOCAL DE EMBARQUE DO PASSAGEIRO: _____
 LOCAL DE DESEMBARQUE DO PASSAGEIRO: _____

SAÍDA DO PONTO: HORA _____ QUILOMETRAGEM _____
 VOLTA AO PONTO: HORA _____ QUILOMETRAGEM _____
 VIAGEM SOLICITADA: () NO PONTO
 () NA RUA
 () POR TELEFONE

LOCAL DE EMBARQUE DO PASSAGEIRO: _____
 LOCAL DE DESEMBARQUE DO PASSAGEIRO: _____

SAÍDA DO PONTO: HORA _____ QUILOMETRAGEM _____
 VOLTA AO PONTO: HORA _____ QUILOMETRAGEM _____
 VIAGEM SOLICITADA: () NO PONTO
 () NA RUA
 () POR TELEFONE

LOCAL DE EMBARQUE DO PASSAGEIRO: _____
 LOCAL DE DESEMBARQUE DO PASSAGEIRO: _____

SAÍDA DO PONTO: HORA _____ QUILOMETRAGEM _____
 VOLTA AO PONTO: HORA _____ QUILOMETRAGEM _____
 VIAGEM SOLICITADA: () NO PONTO
 () NA RUA
 () POR TELEFONE

LOCAL DE EMBARQUE DO PASSAGEIRO: _____
 LOCAL DE DESEMBARQUE DO PASSAGEIRO: _____

Figura 3.10: Formulário de pesquisa pelos motoristas. FONTE: PAMPOLHA (1992)

3.4.1. Arquivo de Chegadas

O arquivo de chegadas é formado por curvas de frequência observada de chegadas e/ou chamadas em cada zona de tráfego, para cada hora ou período do dia. Se o número dessas ocorrências numa determinada zona e período do dia não for suficiente para definir uma curva representativa de frequência, o modelo oferece a opção de simular as chegadas através da média e desvio padrão do tempo entre as ocorrências, utilizando o mesmo arquivo de chegadas.

3.4.2. Arquivo de Origem-Destino

O arquivo de origem-destino das viagens realizadas pelo serviço de táxi é formado por matrizes de frequências acumuladas observadas, referentes a períodos ou hora de observação, que representam a distribuição de viagens no sistema real de transporte por táxi. Porém, quando os dados observados sobre origem-destino das viagens apresentam dispersão pouco significativa ao longo do período observado, para cada uma das zonas de tráfego, o arquivo de origem-destino pode ser formado por apenas uma matriz de percentagem dos destinos de viagens.

3.4.3. Arquivo de Tempos de Viagem

O arquivo de tempos é formado por matrizes de tempos médios de viagem entre as ligações, referentes a períodos ou hora de observação. A opção de mais de uma matriz de tempos se deve ao fato de que pode haver períodos de pico, onde o tempo de viagem entre uma dada ligação seja diferente do tempo no período entre

picos para a mesma ligação. Porém, quando os dados observados sobre os tempos de viagem entre as ligações apresentam dispersão pouco significativa em relação ao tempo médio entre as mesmas ligações, o arquivo de tempos pode ser formado por apenas uma matriz de tempos médios de viagem entre as zonas de tráfego.

Neste trabalho adotou-se, para cada período do dia, um determinado tempo médio de viagem entre uma origem e um destino. Isto foi feito para simplificar a simulação. No entanto, o tempo de viagem poderia ter sido tratado como uma variável aleatória, caracterizada através de uma curva de frequência acumulada.

3.4.4. Arquivo de Distâncias de Viagem

O arquivo de distâncias é formado por apenas uma matriz de distâncias médias de viagem entre as ligações, estas distâncias médias são distâncias reais calculadas através da pesquisa de campo sobre as origens e destinos das viagens por táxi. O cálculo das distâncias médias de viagem é realizado através da leitura da quilometragem real percorrida no início e no final de cada viagem pelos motoristas e, assim é dado pela diferença entre os limites de quilometragem para cada viagem por táxi.

3.4.5. Arquivo de Frotas

O arquivo de frotas é formado pelo número de zonas de geração de viagens com suas respectivas frotas totais, ou seja, os pontos de táxis de uma mesma zona de tráfego são reunidos em um único ponto central na zona.

4. ESTUDO DE CASO

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Este capítulo trata do estudo de caso realizado para validar o modelo proposto neste trabalho e, são mostradas a metodologia aplicada na coleta de dados e as características do sistema de táxis. Posteriormente, são apresentados os resultados obtidos através das simulações realizadas para a alternativa de oferta com pontos privativos usando o modelo e, é mostrado o método adotado para validação do modelo proposto. Finalmente, apresenta-se a análise comparativa, realizada através da simulação para outras duas alternativas operacionais - ponto livre e rádio táxi. Os resultados das duas situações fictícias são comparados entre si e, também com o tipo de operação existente na cidade em estudo.

O estudo de caso foi feito para a cidade de Bauru, que é situada no sudoeste do Estado de São Paulo, e dista cerca de 345 km da capital. Bauru é considerada uma cidade de porte médio, segundo sugestão feita por SILVA (1993), pois possui aproximadamente 300.000 habitantes. As principais atividades econômicas desenvolvidas na cidade são: produção alimentícia, vestuário e comércio. Além disso,

a cidade constitui-se num pólo de atração de estudantes de nível superior, com um campus da Universidade de São Paulo (USP) e um outro da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP).

Em se tratando do transporte urbano de passageiros por ônibus, em 1991, era realizado por aproximadamente 160 ônibus. Esses ônibus eram distribuídos sobre 45 linhas, que compunham a rede de transporte coletivo urbano.

4.2. MÉTODO APLICADO NA COLETA DE DADOS

Os dados sobre as viagens de táxi, utilizados neste trabalho, foram coletados em Setembro de 1991. A pesquisa foi realizada através do preenchimento de um formulário, já mostrado na Figura 3.8, pelos próprios motoristas ao realizarem cada viagem.

O formulário preenchido, quando da coleta de dados, pelos motoristas contém as seguintes informações:

- (1) Hora e quilometragem de saída do táxi do ponto;
- (2) Hora e quilometragem de retorno do táxi para o ponto;
- (3) Tipo de solicitação da viagem;
- (4) Local de embarque do passageiro; e
- (5) Local de desembarque do passageiro.

A cidade de Bauru foi subdividida em 20 zonas de tráfego, segundo um trabalho realizado pela Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano de Bauru

(EMDURB), em 1991, como mostra a Figura 4.1. Essa mesma subdivisão foi utilizada na simulação realizada para o estudo de caso.

Figura 4.1: Cidade de Bauru, subdividida em 20 zonas de tráfego. FONTE: EMDURB (1991)

4.3. O SISTEMA DE TÁXIS EM BAURU

A frota de táxis, na cidade de Bauru, é formada por 198 veículos, distribuídos em 29 pontos de táxis. A idade média da frota, em 1991, era de 7,69 anos; sendo que 49,5% da frota tinha menos de 6 anos de idade. Os pontos de táxis, por sua vez, estão distribuídos em apenas seis das vinte zonas de tráfego. O Quadro 4.1 mostra a distribuição dos pontos nas zonas de tráfego.

Quadro 4.1:

Distribuição dos pontos de táxi na cidade de Bauru

ZONA	Nº DE PONTOS	FROTA
1	15	102
4	2	10
11	1	6
13	4	20
14	5	44
18	2	11

Os usuários do serviço de táxi em Bauru solicitam as viagens caminhando até o ponto, telefonando ou acenando nas ruas. Este último caso, é possível quando os veículos estão voltando vazios para os pontos. Todos os pontos de táxis possuem telefone, para o atendimento daqueles usuários que solicitam o serviço através de chamada telefônica. A distribuição percentual das formas de solicitação das viagens é mostrada no Quadro 4.2.

Quadro 4.2:

Distribuição percentual das formas de solicitação das viagens por táxi em Bauru

FORMA DE SOLICITAÇÃO	PERCENTUAL (%)
Ponto	81,10
Telefone	17,90
Rua	1,00

Os valores de flutuação da demanda de transporte por táxi ao longo do dia, na cidade de Bauru, são mostrados no Quadro 4.3 para as viagens com origem na área

central da cidade, fora da área central e o total de viagens. A Figura 4.2 mostra a variação horária da demanda para todas as viagens por táxi.

Quadro 4.3:

Valores horários do número de viagens por táxi ao longo do dia. FONTE:

PAMPOLHA (1992)

HORÁRIO	NÚMERO DE VIAGENS (%)		
	ORIGEM NO CENTRO	ORIGEM FORA DO CENTRO	TOTAL
6	1,25	3,95	2,56
7	-	3,95	1,92
8	1,25	6,58	3,85
9	2,50	6,58	4,49
10	5,00	9,20	7,05
11	11,25	3,95	7,69
12	8,75	1,32	5,13
13	10,00	2,63	6,41
14	7,50	10,53	8,98
15	11,25	6,58	8,98
16	10,00	5,26	7,69
17	10,00	11,84	10,90
18	12,50	10,53	11,54
19	2,50	5,26	3,85
20	5,00	-	2,56
21	-	5,26	2,56
22	1,25	2,63	1,92
23	-	3,95	1,92
24	-	-	-

Figura 4.2: Variação horária da demanda total de viagens por táxi na cidade de Bauru

A Figura 4.3 mostra a chegada acumulada de usuários aos pontos de táxi em cinco das seis zonas de tráfego. Os motoristas de táxi da zona 11, que possui apenas um ponto, não participaram da pesquisa. Pode-se notar que, com exceção da zona 14, onde existe o terminal rodoviário, o movimento começa às 6:00 horas, aumenta gradativamente até às 7:00 horas. A partir daí o movimento é aproximadamente constante até às 22:00 ou 23:00 horas.

Figura 4.3: Chegada acumulada de usuários de táxi aos pontos na cidade de Bauru

A Tabela 4.1 mostra a quantidade de viagens observadas no dia da pesquisa, no período entre 6:00 e 24:00 horas para cada origem e destino. É importante notar que os valores constantes nesta tabela é o total do dia menos a quantidade de usuários

que tomaram táxi entre 0:00 e 6:00 horas e, menos alguns valores inconsistentes. Para a análise dos dados, valores inconsistentes são aqueles que apresentam grande dispersão em torno de um intervalo observado para um determinado tipo de dado, tal como tempo de viagem ou quilometragem percorrida.

Tabela 4.1:

Origem e destino das viagens por táxi em Bauru

o/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Tot
1	39	2	6	34	11	1	1	3	4	5	6	18	48	41		1	2	20	1		243
4	4			4					1				5	1							15
13	19	2	1	4								3	8	20				5			62
14	30		4	13	5	3	5	9	2	7	2	6	42	18		2	1	16	1		166
18	8	2		5			1		1	1		1	15	5		1	2	6	2	2	52
Tot	100	6	11	60	16	4	7	12	8	13	8	28	118	85		4	5	47	4	2	538

A distribuição espacial das viagens de transporte por táxi na cidade de Bauru se caracteriza da seguinte forma:

(1) Há duas zonas de tráfego que podem ser consideradas principais zonas de geração de viagens, pois a partir delas se originam 45,17% e 30,86% das viagens geradas para o serviço de táxi; estas são, respectivamente, as zonas 1 e 14. As viagens geradas na zona 1, onde se localiza o centro comercial da cidade, provavelmente são realizadas por motivo de compras. Por outro lado, as viagens geradas na zona 14, onde se localiza o terminal rodoviário interurbano de passageiros, podem ser geradas por motivo de transporte com bagagem pesada; este é o caso em que o táxi atua como alimentador para o transporte intermunicipal de passageiros por ônibus.

(2) Há três zonas de tráfego que podem ser consideradas principais zonas de atração de viagens, pois 18,59%; 21,93% e 15,68% das viagens por táxi

apresentam essas zonas como destino; estas são, respectivamente, as zonas 1, 13 e 14. As viagens com destino na zona 1 possivelmente são viagens ocasionais por motivos de compras ou lazer, pois o centro comercial da cidade se localiza nesta zona de tráfego. As viagens com destino na zona 13, onde se localizam a Cidade Universitária, a Faculdade de Filosofia (FAFIL) e alguns centros médicos, podem ser realizadas por motivo de trabalho ou também podem ser viagens de emergência. Em se tratando das viagens com destino na zona 14, estas podem ser realizadas por motivo de transporte com bagagem pesada ao retorno de uma viagem intermunicipal, pois a rodoviária se localiza nesta zona de tráfego.

Em síntese, a zona de tráfego que apresenta a maior percentagem de geração de viagens por táxi, em relação ao número total de viagens geradas no sistema, é a zona 1, que coincide com o centro comercial da cidade, produzindo 45,17% do total das viagens. Desta forma, as demais zonas de tráfego em conjunto, ou seja, as outras 19 zonas de tráfego geram apenas 54,83% do total de viagens por táxi. Entretanto, o conjunto dessas 19 zonas de tráfego atraem 81,41% das viagens de táxi. Esse fenômeno explica o porquê de as viagens por táxi na cidade de Bauru serem principalmente radiais, com origem no centro da cidade e destino nas regiões que circuncidam a região central.

O fenômeno que ocorre na distribuição de viagens em Bauru é tratado por PAMPOLHA (1992) como desequilíbrio espacial da demanda e deve-se, em grande parte, à ausência de pontos nas regiões mais afastadas. Por razões econômicas, os usuários costumam caminhar até os pontos para solicitar as viagens, uma vez que estes começam a pagar quando os táxis partem dos pontos. Assim, torna-se claro que a inexistência de pontos de táxi nos bairros mais afastados do centro da cidade reprime a demanda pelo serviço na periferia.

O tempo médio de viagem redonda (ida + volta) para cada origem e destino é apresentado na Tabela 4.2. Os valores constantes nesta tabela referem-se também ao número total de viagens do dia da pesquisa menos a quantidade de viagens realizadas entre 0:00 e 6:00 horas e, menos alguns valores inconsistentes.

Tabela 4.2:

Tempo médio de viagem redonda (ida + volta), em minutos

o/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	17	37	21	16	26	20	30	31	33	24	23	22	16	18		30	25	21	30	
4	28			20					20				32	25						
13	26	25	60	34								21	21	19				26		
14	20		20	15	16	25	35	19	40	20	13	18	19	20		25	25	28	30	
18	19	27		30			30		40	60		20	21	23		20	20	22	42	14

O tempo de viagem entre cada par origem/destino, ao longo do dia, no sistema de táxi da cidade de Bauru apresenta uma dispersão relativamente grande em torno do tempo médio de viagem. No entanto, considerando-se que quando o número de viagens na ligação aumenta, a média dos tempos de viagem simulados tende ao tempo médio observado e também para simplificar, decidiu-se adotar uma única matriz de tempos médios de viagem ao longo do dia, quando da realização do estudo de caso, mostrada na Tabela 4.2. A Figura 4.4 mostra a distribuição de frequência dos valores de tempo de viagem entre as três ligações que apresentam maior número de viagens por táxi em Bauru.

Figura 4.4: Distribuição de frequência dos tempos médios de viagem entre as ligações 1/13, 1/14 e 14/13 na cidade de Bauru

Quanto ao tipo de oferta do serviço de táxi em Bauru, este é realizado através da alternativa de operação com pontos privativos. Este tipo de operação possui a vinculação carro-ponto, pois o táxi retorna ao ponto onde é licenciado depois de realizar uma viagem solicitada pelo usuário.

A distância média total das viagens por táxi na cidade de Bauru, compreendendo ida e volta, é $D_t = 6,44$ km. Em virtude do tipo de operação do sistema, a distância média efetiva, ou seja, o segmento da viagem percorrida com o usuário, é aproximadamente igual à metade da distância média total das viagens. Desta forma, tem-se que $D_e = 3,22$ km.

Com os valores de número total de viagens por dia e distância média das viagens, pode-se calcular o valor da quilometragem diária total percorrida pela frota, da seguinte forma:

$$q_t = V \times D_t \quad (4.1)$$

onde,

q_t - quilometragem diária total percorrida (km/dia);

V - número total de viagens realizadas por dia (viagens/dia);

D_t - distância média das viagens.

Substituindo os valores de número total de viagens por dia e distância média das viagens na Equação 4.1, obtém-se o valor da quilometragem diária total percorrida para o sistema de táxi na cidade de Bauru. Assim tem-se:

$$q_t = 538 \times 6,44$$

$$q_t = 3.464,72 \text{ km/dia.}$$

De forma semelhante ao cálculo da distância média efetiva, a quilometragem diária total efetiva é dada por $q_e = 1.732,36$.

A velocidade operacional dos veículos no serviço de transporte por táxi na cidade de Bauru varia de 5 a 55 km/hora. Essa variação de velocidade, dada em percentagem de ocorrência em intervalos de 5 km/hora, é mostrada no Quadro 4.4.

Quadro 4.4:

Frequência de valores da velocidade operacional. FONTE: PAMPOLHA (1992)

VELOCIDADE (km/h)	FREQÜÊNCIA (%)
5	1,88
10	11,79
15	23,08
20	26,84
25	17,95
30	9,06
35	3,42
40	3,08
45	1,71
50	1,03
55	0,17

A distribuição de valores da velocidade operacional do serviço de táxis em Bauru é mostrada de forma mais explícita na Figura 4.5.

Figura 4.5: Distribuição de valores da velocidade operacional de viagem por táxi em Bauru

A Figura 4.5 apresenta uma grande dispersão de valores da velocidade operacional do serviço de táxi da cidade de Bauru. Essa dispersão é devido ao fato de que os valores se referem ao número total de viagens ocorridas no sistema, incluindo os períodos de pico e fora pico de viagem. Mas, a distribuição de velocidade entre pares individuais de zonas de tráfego se apresenta com valores menos dispersivos, quando comparada a distribuição do sistema de táxi como um todo. A Figura 4.6 mostra as distribuições de velocidade operacional entre os pares de zona 1/13, 1/14 e 14/13.

Figura 4.6: Distribuição de valores da velocidade operacional de viagem por táxi entre as zonas de tráfego 1/13, 1/14 e 14/13

A velocidade operacional média dos táxis na cidade de Bauru é, segundo PAMPOLHA (1992), $U = 20,21$ km/hora. Este valor foi calculado considerando apenas as viagens com velocidades acima de 10 km/hora, pois as velocidades inferiores a este valor foram desprezadas devido a paradas de interesse dos motoristas ocorrerem na grande maioria das viagens realizadas.

Com os valores de distância média das viagens por táxi e a velocidade média operacional dos veículos, pode-se calcular o tempo médio das viagens da seguinte forma:

$$T_v = D_t / U \quad (4.2)$$

onde,

T_v - tempo médio de viagem por táxi;

D_t - distância média das viagens;

U - velocidade média operacional.

Substituindo os valores de distância média das viagens e velocidade média operacional na Equação 4.2, obtém-se o valor de tempo médio das viagens por táxi na cidade de Bauru. Desta forma, pode-se ter:

$$T_v = 6,44 / 20,21$$

$$T_v = (0,3107 \text{ horas}) \times (60 \text{ min})$$

$$T_v = 19,12 \text{ minutos.}$$

De forma semelhante ao cálculo da quilometragem diária total efetiva, o tempo médio efetivo de viagem é dado por $T_e = 9,56$ minutos.

Pesquisa realizada pela EMDURB (1990) com os motoristas de táxi, em Bauru, mostra o perfil do sistema naquela cidade, segundo a percepção dos condutores. Em síntese, a opinião que os motoristas têm sobre quilometragem média diária percorrida, período de maior deslocamento de passageiros e dia da semana de maior movimento é mostrada através dos Quadros 4.5, 4.6 e 4.7, respectivamente.

Quadro 4.5:

Distribuição de quilometragem média diária percorrida

QUILOMETRAGEM (km/dia)	FREQÜÊNCIA (%)
<30	4,00
40	17,33
50	20,00
60	18,66
70	24,01
>80	8,00
sem resposta	8,00

Quadro 4.6:

Distribuição do período de maior deslocamento dos passageiros de táxi

PERÍODO	FREQÜÊNCIA (%)
manhã	16,01
tarde	21,33
noite	6,66
sem resposta	33,33
outras respostas	22,67

Quadro 4.7:

Distribuição do dia da semana de maior movimento do sistema de táxi

DIA	FREQÜÊNCIA (%)
segunda-feira	13,50
terça-feira	11,00
quarta-feira	11,00
quinta-feira	12,50
sexta	20,50
sábado	10,00
domingo	7,50
sem resposta	5,50
outras respostas	8,50

4.4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

Com base nos dados apresentados anteriormente, o processo do estudo de caso prossegue para se obter os resultados através do modelo desenvolvido. Inicialmente, a alternativa de pontos privativos é simulada com o intuito de tornar possível a fase de validação do modelo, através da análise comparativa entre os dados obtidos através da simulação e os dados observados. Posteriormente, as alternativas de pontos livres e rádio táxi serão simuladas para efeito de análise de racionalização do serviço de táxi da cidade de Bauru.

Foram realizadas 10 simulações, e como sempre acontece em processos de simulação, os resultados da simulação diferiram entre si. No caso deste trabalho, as diferenças devem-se à aleatoriedade admitida nos processos de geração de viagens em cada zona de tráfego e de geração dos destinos dessas viagens. As Tabelas 4.3 e 4.4 apresentam, respectivamente, a média e o desvio padrão do número de viagens entre cada par origem-destino.

Tabela 4.3:

Média da chegada de viagens das 10 simulações

o/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Tot
1	41	3	6	33	10			2	4	6	5	18	44	42			2	16			232
4	6			6					1				6	2							21
13	18	2	1	5								4	6	18				4			58
14	28		4	13	4	3	5	12	2	8	2	10	44	20		2	2	19			178
18	11	2		4			1		1	1		2	9	4		1	2	8			46
Tot	104	7	11	61	14	3	6	14	8	15	7	34	109	86		3	6	47			535

Tabela 4.4:

Desvio padrão do número da chegada de viagens das 10 simulações

o/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	4,4	1,4	1,6	4,8	2,3	0,0	0,0	1,4	1,2	1,5	1,0	5,2	5,2	4,0	0,0	0,0	1,4	3,0	0,0	0,0
4	2,2	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	2,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	3,6	1,4	1,3	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,8	4,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0
14	5,0	0,0	1,4	3,3	2,0	1,0	1,4	4,4	1,6	2,3	0,8	2,5	6,1	3,8	0,0	1,4	1,1	2,6	0,0	0,0
18	3,2	1,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,7	0,0	0,8	1,0	0,0	1,0	2,2	2,2	0,0	1,2	1,2	2,4	0,0	0,0

Através da comparação entre os valores das Tabelas 4.1 e 4.3, pode-se verificar se os eventos foram ou não bem simulados. Assim, observa-se que somente a média das viagens geradas da zona 14 para a zona 12, e da zona 18 para a zona 13 apresentaram discrepância entre os valores observados e gerados.

Com os valores apresentados na Tabela 4.4, é possível avaliar a dispersão do número de viagens geradas através das 5 simulações. Portanto, pode-se observar que apenas o número de viagens geradas da zona 1 para as zonas 12 e 13, e da zona 14 para a zona 13 apresentaram dispersão em volta do número médio de viagens geradas.

A Tabela 4.5 apresenta as distâncias médias entre as ligações, obtidas através da simulação com pontos privativos. Essas distâncias são referentes à viagem com o usuário da origem ao destino mais a viagem vazia de retorno à origem.

Tabela 4.5:

Distâncias médias de viagem obtidas através da simulação com pontos privativos

o/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	3	12	7	4	7			12	17	7	6	5	4	5			10	6		
4	6			4					4				9	8						
13	9	8	19	8								5	5	5				9		
14	5		5	4	5	12	14	9	16	6	6	4	7	9		10	10	12		
18	6	11		12			12		16	24		5	6	7		5	5	6		

BANKS and CARSON II (1984), define validação como o processo geral de comparar os resultados obtidos através do modelo com o comportamento do sistema real, utilizando os dados observados. Então, baseado nesta definição, pode-se dizer que o modelo desenvolvido é válido para representar o sistema de transporte por táxi, uma vez que a comparação realizada entre os dados observados e os resultados obtidos através da simulação é satisfatória.

A fim de assegurar a validação do modelo proposto foi calculado um intervalo de confiança, com base na literatura de MACDOUGALL (1987), para o número total de viagens geradas por dia (V). O Quadro 4.8 apresenta o número de viagens/dia para as 10 rodadas de simulação realizadas.

Quadro 4.8

Número total de viagens/dia para as 10 simulações

SIMULAÇÃO	VIAGENS/DIA (V)
1	534
2	525
3	526
4	524
5	542
6	525
7	536
8	566
9	568
10	519

Utilizando os valores de viagens por dia (V), apresentados no Quadro 4.8, pode-se calcular o número médio de viagens geradas por dia obtido pela simulação, através do método da média aritmética. Então, a média da amostra é dada por $V_{med} = 536,5$ viagens/dia.

A partir do valor médio da amostra, pode-se calcular a variância, que é uma medida de dispersão de uma distribuição, através da seguinte equação:

$$\delta^2 = \Sigma (V_i - V_{med})^2 / (n - 1) \quad (4.3)$$

onde,

δ^2 - variância;

V_i - número de viagens/dia da i -ésima rodada de simulação;

V_{med} - número médio de viagens/dia; e

n - número de rodadas de simulação.

Substituindo os valores de V_i , V_{med} e n na Equação 4.3, calcula-se $\delta^2 = 304,06$. Portanto, torna-se possível calcular o desvio padrão em relação à média da amostra, que é dado pela seguinte expressão:

$$\sigma = \delta / n^{1/2} \quad (4.4)$$

onde,

σ - desvio padrão; e

δ e n - citados anteriormente.

Substituindo os valores de δ e n na Equação 4.4, calcula-se $\sigma = 5,52$. A um nível de confiança de 95%, ou seja, $1 - \alpha = 0,95$, pode-se calcular o valor de $\alpha = 0,05$; que significa uma margem de erro de 5% para o intervalo de confiança. Posteriormente, pode-se encontrar o valor de $t_{\alpha/2; n-1}$, que significa o percentil superior $\alpha/2$ da distribuição t com $n-1$ graus de liberdade. Substituindo o valor de α e n , o percentil superior $(0,05/2)$ da distribuição t com $(10-1)$ graus de liberdade é tabelado como $t_{0,025;9} = 2,26$ (MACDOUGALL, 1987, p.98). Assim, pode-se calcular a metade da largura do intervalo de confiança, da seguinte forma:

$$H = (t_{\alpha/2;n-1}) \cdot \sigma \quad (4.5)$$

onde,

H - Metade da largura do intervalo de confiança;

$t_{\alpha/2;n-1}$ - Percentil superior $\alpha/2$ da distribuição t com $n-1$ graus de liberdade; e

σ - desvio padrão.

Substituindo os valores de percentil superior e desvio padrão na Equação 4.5, calcula-se $H = 12,48$. Portanto, o intervalo de confiança para o número total de viagens geradas por dia é dado pela média da amostra $\pm$ metade da largura, da seguinte forma: intervalo de confiança = $536,5 \pm 12,48$. Assim, o intervalo de confiança para o número total de viagens geradas por dia é definido pelo par ordenado (524,02; 548,98).

Em se tratando do intervalo de confiança calculado, pode-se dizer que o modelo proposto é válido pois o número real de viagens geradas por dia ($V_{\text{real}} = 538$) está entre (524,02; 548,98) e, apenas 3 valores de número total de viagens geradas por dia das 10 rodadas de simulação não estão entre os limites do intervalo de confiança.

Após validado o modelo desenvolvido, pretende-se realizar uma análise de sensibilidade a fim de quantificar as alterações exercidas por elementos que influenciam o processo de racionalização do sistema de táxi da cidade de Bauru. Para tanto, é necessário simular outras alternativas de oferta que não operam atualmente no sistema. As alternativas operacionais a serem simuladas são pontos livres e rádio táxi.

A Tabela 4.6 apresenta as distâncias médias entre as ligações obtidas através da simulação com pontos livres. Essas distâncias são referentes à viagem com o usuário da origem ao destino mais a viagem vazia para o destino do táxi.

Tabela 4.6:

Distâncias médias de viagem obtidas através da simulação com pontos livres

o/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	7	3	2	4			10	12	6	7	7	5	6			8	7		
4	4			2					6				7	9						
13	5	5	9	4								6	5	6				7		
14	3		2	2	4	10	19	9	11	6	6	7	6	8		12	10	10		
18	4	5		6			16		14	14		7	6	8		8	5	7		

A Tabela 4.7 apresenta as distâncias médias entre as ligações obtidas através da simulação com rádio táxi. Essas distâncias são referentes à viagem com o usuário da origem ao destino mais a viagem vazia para a origem do próximo usuário que aquele táxi prestará serviço.

Tabela 4.7:

Distâncias médias de viagem obtidas através da simulação com rádio táxi

o/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	6	3	2	3			10	10	5	5	5	4	5			8	5		
4	3			2					4				6	6						
13	6	7	13	6								9	7	6				7		
14	4		4	2	4	10	18	10	11	5	5	4	6	8		10	8	8		
18	5	8		8			16		13	16		8	5	9		8	8	5		

4.5. AVALIAÇÃO ECONÔMICA ENTRE AS ALTERNATIVAS DE OFERTA DE TÁXI

4.5.1. O Custo da Oferta do Serviço de Táxis com Frota Atual

O custo total mensal da frota de táxis (PAMPOLHA, 1992) é dado por:

$$C_T = C_1.Q + (C_2 + C_3.M).N \quad (4.6)$$

onde,

C_T - é o custo mensal de operação da frota de táxis (US\$/mês).

C_1 - é o custo por quilômetro rodado (US\$/km). Este custo inclui o gasto

com:

combustível;

óleo do cárter, do câmbio e diferencial;

peças e material de oficina;

lavagens e graxas;

pneus, câmaras e recapagens.

Q - é a quilometragem mensal percorrida pela frota de táxis (km/mês).

C_2 - é o custo mensal relativo ao veículo (US\$/mês/veículo). Este custo inclui:

depreciação;

remuneração do capital;

licenciamento; e

seguro obrigatório.

C_3 - é o custo mensal referente ao motorista (US\$/mês/motorista). Este custo

inclui:

salário; e

encargos sociais.

M - é o número de motoristas por veículo (motorista/veículo).

N - é a frota total de táxis (veículos).

A quilometragem mensal percorrida pela frota de táxis é dada pela expressão:

$$Q = 30.V.D_{med} \quad (4.7)$$

onde,

Q - é a quilometragem mensal percorrida pela frota de táxis (km/mês).

30 - é o número de dias no mês.

V - é o número de viagens por dia (viagens/dia).

D_{med} - é a distância média de viagem (km).

Através dos valores de quilometragem diária percorrida q (km/dia) e número de viagens por dia V (viagens/dia), obtidos pelas 5 simulações realizadas para as alternativas de oferta com pontos privativos, pontos livres e rádio táxi, pode-se calcular os valores de distância média de viagem D_{med} (km). Substituindo os valores encontrados na Equação 4.7, pode-se encontrar a quilometragem mensal percorrida Q (km/mês) para os três tipos de alternativa considerados. A Tabela 4.8 mostra os resultados obtidos e calculados.

Tabela 4.8:

Valores obtidos e calculados para as 3 alternativas de oferta

PONTO PRIVATIVO	q (km/dia)	V (viagens/dia)	Dmed (km)	Q (km/mês)
SIMULAÇÃO 1	3.379	534	6,33	101.406,6
SIMULAÇÃO 2	3.362	525	6,40	100.800,0
SIMULAÇÃO 3	3.415	526	6,49	102.412,2
SIMULAÇÃO 4	3.432	524	6,55	102.966,0
SIMULAÇÃO 5	3.415	542	6,30	102.438,0
MÉDIA	3.401	530	6,40	102.078,0
PONTO LIVRE	q (km/dia)	V (viagens/dia)	Dmed (km)	Q (km/mês)
SIMULAÇÃO 1	2.945	534	5,52	88.430,4
SIMULAÇÃO 2	2.667	525	5,08	80.010,0
SIMULAÇÃO 3	2.963	526	5,63	88.841,4
SIMULAÇÃO 4	2.854	524	5,45	85.674,0
SIMULAÇÃO 5	2.835	542	5,23	85.039,8
MÉDIA	2.853	530	5,38	85.542,0
RÁDIO TÁXI	q (km/dia)	V (viagens/dia)	Dmed (km)	Q (km/mês)
SIMULAÇÃO 1	2.781	534	5,21	83.464,2
SIMULAÇÃO 2	2.510	525	4,78	75.285,0
SIMULAÇÃO 3	2.810	526	5,34	84.265,2
SIMULAÇÃO 4	2.729	524	5,21	81.901,2
SIMULAÇÃO 5	2.705	542	4,99	81.137,4
MÉDIA	2.707	530	5,11	81.249,9

Os valores dos custos vigentes para o sistema de táxis na cidade de Bauru, quando da época dos levantamentos efetuados (Setembro de 1991), eram os seguintes:

$$C_1 = \text{US\$ } 0,10;$$

$$C_2 = \text{US\$ } 230,68; \text{ e}$$

$$C_3 = \text{US\$ } 617,01.$$

A primeira parcela da Equação 4.6 se refere à fração de custo variável da operação do serviço de transporte por táxi, como é mostrada abaixo:

$$C_V = C_1 \cdot Q \quad (4.8)$$

onde,

C_V - parcela de custo variável em relação ao custo total mensal de operação do sistema de táxis (US\$/mês),

C_1 - custo por quilômetro rodado (US\$/km),

Q - quilometragem mensal percorrida pela frota de táxis (km/mês).

Substituindo o valor de C_1 na Equação 4.8, tem-se a seguinte expressão de custo variável:

$$C_V = 0,10Q$$

Agora, pode-se determinar os valores de custo variável para as três alternativas de oferta simuladas pelo modelo, substituindo os valores de quilometragem mensal percorrida em cada uma das alternativas simuladas. Os valores de custo variáveis estão mostrados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9

Custos variáveis mensais médios das 5 simulações

ALTERNATIVA DE OFERTA	CUSTO VARIÁVEL MENSAL (US\$/mês)					CUSTO MÉDIO
	1	2	3	4	5	
Ponto privativo	10.140,66	10.080,00	10.241,22	10.296,60	10.243,80	10.200,46
Ponto Livre	8.843,04	8.001,00	8.884,14	8.567,40	8.503,98	8.559,91
Rádio Táxi	8.346,42	7.528,50	8.426,52	8.190,12	8.113,74	8.121,06

Julgando apenas em termos de custos variáveis da operação de transporte por táxi, pode-se dizer que para a alternativa de pontos livres há uma economia mensal da ordem de 16,08% e, para a alternativa com rádio táxi há uma economia mensal aproximadamente igual a 20,39%, em relação à alternativa de pontos privativos. No

entanto, é necessário visualizar a parcela de custo variável dentro do custo total de operação do serviço de táxi.

Considerando $M = 1$, $N = 187$, e os valores de C_1 , C_2 , C_3 e Q calculados para os três tipos de oferta, pode-se substituir na Equação 4.6 e determinar as equações de custo total mensal para as alternativas de oferta com pontos privativos, pontos livres e rádio táxi.

Ponto Privativo

$$C_T = C_1.Q + (C_2 + C_3.M).N$$

$$C_T = 0,10Q + (230,68 + 617,01 \times 1) \times 187$$

$$C_T = 0,10Q + 158.518,03$$

Ponto Livre

$$C_T = C_1.Q + (C_2 + C_3.M).N$$

$$C_T = 0,10Q + (230,68 + 617,01 \times 1) \times 187$$

$$C_T = 0,10Q + 158.518,03$$

Rádio Táxi

O custo total mensal do sistema de controle operacional e comunicação por rádio (PAMPOLHA, 1992) é dado pela equação:

$$C_R = C_4 + C_5.N \quad (4.9)$$

onde,

C_R - é o custo mensal da implantação e operação do sistema de controle e comunicação por rádio (US\$/mês).

C_4 - é a parcela do custo mensal referente à central de controle operacional (US\$/mês).

C_5 - é o custo mensal referente ao equipamento de rádio implantado em cada veículo (US\$ /mês/veículo).

N - é a frota total de táxis (veículos).

O custo da implantação da central de controle operacional em Bauru, na época da pesquisa de campo (Setembro de 1991), era igual a US\$ = 117.412,23. O custo de cada aparelho de rádio para os veículos era cerca de US\$ = 704,44. Admitindo-se uma taxa de juros de 12% ao ano e uma vida útil de 10 anos para os equipamentos, o custo da central de controle resulta em US\$ = 1.731,75 / mês e o custo do rádio para os táxis resulta em US\$ = 10,39 / mês. O custo de operação e manutenção de uma central de controle por rádio táxi era da ordem de US\$ = 4.696,27 / mês. Os valores de custo para a alternativa com rádio táxi têm como fonte PAMPOLHA (1992), sendo que estes foram dolarizados com base no valor do dólar da época (US\$ 1,0 = Cr\$ 425,87). Portanto, os custos mensais referentes à central de controle operacional e ao equipamento de rádio implantado em cada veículo são, respectivamente:

$$C_4 = 1.731,75 + 4.696,27 \Rightarrow C_4 = \text{US\$ } 6.428,02 / \text{mês}$$

$$C_5 = \text{US\$ } 10,39 / \text{mês}.$$

Assim, a equação de custo total mensal para a alternativa com rádio táxi é composta pelas seguintes parcelas de custo:

$$C_T = C_1.Q + (C_2 + C_3.M).N + C_4 + C_5.N$$

$$C_T = 0,10Q + (230,68 + 617,01 \times 1) \times 187 + 6.428,02 + 10,39 \times 187$$

$$C_T = 0,10Q + 166.888,98$$

Portanto, pode-se calcular os valores dos custos totais mensais para as três alternativas de oferta consideradas. Esses valores estão mostrados na Tabela 4.10.

Tabela 4.10:

Custos totais mensais médios das 5 simulações

ALTERNATIVA OFERTA	CUSTO TOTAL MENSAL (US\$/mês)					CUSTO MÉDIO
	1	2	3	4	5	
Ponto Privativo	168.659	168.598	168.759	168.815	168.762	168.718
Ponto Livre	167.361	166.519	167.402	167.085	167.022	167.078
Rádio Táxi	175.235	174.418	175.316	175.079	175.003	175.010

A Tabela 4.10 mostra que, mantendo a mesma frota de 107 veículos no sistema de táxi da cidade de Bauru e para atender a mesma demanda existente no tipo de operação atual (pontos privativos), pode-se atingir uma economia percentual do custo total mensal médio em torno de 0,97% se o sistema de táxi da cidade operasse com a alternativa de pontos livres. Isso é traduzido, em termos monetários, para uma economia mensal de US\$ = 1.640,00 / mês e, consequentemente, uma economia anual de US\$ = 19.680,00.

Por outro lado, se o sistema de táxis da cidade de Bauru operasse com a mesma frota para atender a demanda existente no tipo de operação atual (pontos privativos), utilizando a alternativa com rádio táxi haveria um gasto adicional percentual do custo total mensal médio em torno de 3,6%, o que resultaria em um gasto adicional mensal de US\$ = 6.292,00 e, consequentemente, um gasto adicional anual de US\$ = 75.504,00. Esse adicional é devido ao custo de implantação e

operação do sistema de controle e comunicação por rádio, como pode ser visto na Tabela 4.10.

A Figura 4.7 ilustra as quilometragens mensais médias e os respectivos custos totais mensais médios para operar o sistema de táxis da cidade de Bauru, através das três alternativas de oferta consideradas pelo modelo.

Figura 4.7: Quilometragens e custos médios para as 3 alternativas de oferta de táxi

4.5.2. O custo da Oferta do Serviço de Táxis com Redução de Frota

Foi realizada uma série de simulações, variando o tamanho da frota total de táxis da cidade de Bauru; a fim de proceder-se a uma análise de sensibilidade entre os custos totais mensais para operar o sistema de táxis, as esperas dos usuários para serem atendidos e as esperas dos táxis para realizarem uma viagem.

4.5.2.1. Alternativa de Oferta com Pontos Livres

Quando das simulações realizadas para a alternativa de oferta com pontos livres, variou-se o tamanho da frota em diferentes percentagens, em relação à frota atual do sistema de táxi para a cidade de Bauru, para cada zona de tráfego considerada. A Tabela 4.11 mostra os valores das variações da frota em cada uma das zonas de tráfego consideradas e as reduções percentuais totais.

Tabela 4.11:

Valores das reduções de frota para a alternativa com pontos livres

ZONA	REDUÇÃO DA FROTA PARA (%)			
	50	54	60	67
1	51	51	51	51
4	5	5	5	6
13	10	10	12	18
14	22	27	36	40
18	6	7	9	11
Total	94	100	113	126

A medida em que o tamanho da frota vai aumentando, consequentemente o custo total mensal para operar o sistema de táxis aumenta. Isso não necessariamente é verdade para os aumentos de espera dos usuários e dos veículos em relação ao aumento do tamanho da frota total de táxis, pois os aumentos de espera, tanto dos usuários quanto dos veículos, variam em relação ao tamanho de frota de veículo em zonas individuais; ou seja, as esperas dos usuários e dos veículos dependem da distribuição espacial da frota total.

A Tabela 4.12 mostra os valores das esperas dos usuários e dos veículos e os valores de custos totais mensais em relação à variação no tamanho da frota total existente no sistema de táxis da cidade de Bauru, considerando a alternativa de oferta com pontos livres.

Tabela 4.12:

Valores de esperas e de custos para a alternativa com pontos livres

REDUÇÃO FROTA(%)	N (veíc)	ESPERA (min)		CUSTO TOTAL MENSAL (US\$ / mês)
		USUÁRIOS	VEÍCULOS	
50	94	5,2 / 194*	3,7 / 8*	88.245,52
54	100	0,2 / 24*	3,7 / 10*	93.332,20
60	113	0,1 / 14*	4,6 / 12*	104.353,34
67	126	0,0 / 0*	4,9 / 8*	115.374,48

* O primeiro valor se refere ao tempo médio de espera e o segundo, ao tempo máximo de espera.

Os valores de espera dos usuários para serem atendidos, que são mostrados na Tabela 4.12, são referentes somente ao tempo necessário para que o sistema se torne disponível para realizar o serviço solicitado. A Tabela 4.12 mostra que com redução da frota total de táxis da cidade de Bauru, o sistema pode operar com custos mais baixos do que o custo para operar o sistema atual. A Tabela 4.13 mostra as economias de custo para operar o sistema de táxis da cidade de Bauru, caso vigorasse a alternativa com pontos livres.

Tabela 4.13:

Economias de custo com redução da frota total para pontos livres

REDUÇÃO FROTA (%)	ECONOMIAS DE		CUSTO
	PERCENTUAL(%)	MENSAL(US\$/mês)	ANUAL (US\$/ano)
50	49	80.472,48	965.669,76
54	46	75.385,80	904.629,60
60	39	63.364,66	760.375,92
67	33	52.343,52	628.122,24

A análise de sensibilidade realizada para a alternativa de oferta com pontos livres permite observar as variações dos valores de frota total, e espera dos usuários para serem atendidos e dos veículos para realizarem o serviço. A Figura 4.8 ilustra esses valores encontrados através das simulações realizadas.

Figura 4.8: Valores de esperas do usuários e veículos em relação a frota total reduzida para a operação com pontos livres

4.5.2.2. Alternativa de Oferta com Rádio Táxi

Quando das simulações realizadas para a alternativa de oferta com rádio táxi variou-se o tamanho da frota em diferentes percentagens, em relação à frota atual do sistema de táxis da cidade de Bauru, para zona de tráfego considerada. Neste caso, a variação da frota se deu reduzindo a frota de cada zona em igual dimensão à redução da frota total. A Tabela 4.14 mostra os valores das variações da frota em cada uma das zonas de tráfego consideradas e a reduções precentuais totais.

Tabela 4.14:

Valores das reduções de frota para a alternativa com rádio táxi

ZONA	REDUÇÃO DA FROTA PARA (%)			
	50	41	31	21
1	51	41	31	21
4	5	4	3	2
13	10	8	6	4
14	22	18	14	9
18	6	5	4	3
Total	94	76	58	39

A Tabela 4.15 mostra os valores da redução percentual e numérica de frota, das esperas dos usuários e veículos, e dos custos totais mensais médios para operar a alternativa de oferta com rádio táxi.

Tabela 4.15:

Valores de esperas e de custos para a alternativa com rádio táxi

REDUÇÃO FROTA(%)	N (veíc)	ESPERA (min)		CUSTO TOTAL MENSAL (US\$ / mês)
		USUÁRIOS	VEÍCULOS	
50	94	2,0 / 8*	3,7 / 10*	95.212,53
41	76	3,1 / 8*	2,9 / 6*	79.767,09
31	58	3,8 / 8*	2,2 / 4*	64.363,41
21	39	4,1 / 8*	1,9 / 4*	48.018,13

* O primeiro valor se refere ao tempo médio de espera e o segundo, ao tempo máximo de espera.

A Tabela 4.15 mostra que, a medida em que o tamanho de frota vai diminuindo consequentemente o custo total mensal para operar o sistema para a alternativa com rádio táxi diminui também. Os valores de espera dos usuários se referem ao tempo que o veículo gasta no deslocamento para sair do ponto onde está estacionado e apanhar o usuário, já que na alternativa com rádio táxi o usuário não

espera que o serviço se torne disponível para atendê-lo, pois o usuário pode ser atendido por táxi de qualquer zona de tráfego. A Tabela 4.16 apresenta os valores das economias de custo para operar o sistema de táxis da cidade de Bauru, caso fosse implantada uma central de rádio táxi.

Tabela 4.16:

Economias de custo com redução da frota para a alternativa com rádio táxi

REDUÇÃO FROTA (%)	ECONOMIAS DE CUSTO		
	PERCENTUAL(%)	MENSAL(US\$/mês)	ANUAL (US\$/ano)
50	44	73.504,47	882.053,64
41	53	88.950,91	1.067.410,90
31	62	104.354,59	1.252.255,10
21	72	120.699,87	1.448.398,40

A análise de sensibilidade realizada para a alternativa de oferta com rádio táxi permite observar as variações dos valores de frota total, e espera dos usuários para serem atendidos e dos veículos para realizarem o serviço. A Figura 4.9 ilustra esses valores encontrados através das simulações realizadas.

Figura 4.9: Valores de esperas dos usuários e veículos em relação à frota total reduzida para a alternativa de operação com rádio táxi

4.5.3. O Custo do Serviço de Táxis para as Três Alternativas de Oferta

A Figura 4.10 mostra os custos totais mensais médios para operar o sistema de táxis da cidade de Bauru, considerando as três alternativas de oferta.

O custo mostrado para a alternativa de oferta com pontos privativos é referente ao custo da operação atual.

O custo mostrado para a alternativa de oferta com pontos livres é referente ao custo caso o sistema passasse a operar com uma frota de 126 veículos, em que os usuários não esperariam para serem atendidos e os veículos esperariam 4,9 minutos, em média, para realizarem uma viagem.

O custo mostrado para a alternativa de oferta com rádio táxi é referente ao custo do serviço de táxi se o sistema passasse a operar com uma frota de 39 veículos, em que os usuários esperariam 4,1 minutos para que os veículos se deslocassem até o

ponto de origem da viagem e os veículos esperariam 1,9 minutos, em média, para realizarem uma viagem.

Figura 4.10: Valores de quilometragens e custos médios mensais para as três alternativas de oferta considerada

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONCLUSÕES

O processo de planejamento do sistema de transporte por táxi deve ser realizado em integração com os outros sistemas de transporte urbano de passageiros. Há zonas de tráfego, onde não existe serviço convencional de transporte público, mas os habitantes dessas áreas que não possuem automóvel particular demandam um modo de transporte com caráter semi-público para realizarem suas viagens ocasionais. Neste sentido, o táxi é o tipo de transporte mais adequado para zonas de tráfego com baixas densidades de viagem. Em zonas de tráfego, onde o transporte coletivo opera de modo eficiente, mas não oferece serviço 24 horas por dia, o serviço de táxi é necessário para realizar as viagens ocorridas fora do período de operação do transporte público convencional, para os usuários cativos deste tipo de transporte; e para realizar as viagens de lazer ou por motivos especiais que colocam em risco a segurança ou o estado do veículo, para os usuários que possuem automóvel particular. E, ainda, o táxi deve ser programado em integração com o transporte interurbano de passageiros em qualquer zona de tráfego; neste caso, os pontos de táxi

devem se localizar próximos a terminais interurbanos de passageiros, tais como estações rodoviária e ferroviária, porto e aeroporto.

Em grande parte das cidades brasileiras de porte médio, o sistema de transporte por táxi é deficiente em virtude da irracionalidade operacional do serviço. Nos centros das cidades os serviços são superdimensionados, e os veículos permanecem ociosos por uma grande parte do tempo ou circulam vazios. Na periferia das cidades, usuários necessitam do serviço de táxi, mas não são atendidos porque geralmente o sistema de táxi não fornece o acesso ao serviço.

Geralmente, o custo do transporte por táxi é relativamente alto em relação à tarifa do transporte público. Este fato impede o acesso ao serviço de pessoas que possuem baixa renda. Isto significa que só uma pequena fatia da população tem condições de utilizar o serviço de táxi, o que o torna ainda mais caro para compensar o período de tempo em que táxis e taxistas permanecem ociosos.

O sistema de transporte por táxi possui características peculiares que faz com que o tipo de operação do serviço seja função da necessidade de transporte, mais precisamente do surgimento da demanda. Ou seja, o processo natural de surgimento da demanda - local e instantâneo em que é solicitada uma viagem por táxi - é fator preponderante para definir o tipo de operação em cada sistema particular. Pois, não é necessário somente oferecer serviço de táxi, é importante também fornecer acesso ao mesmo em qualquer ponto dentro da área urbana.

No Brasil, a frota do serviço de táxis da maioria das cidades é dimensionada através de regra prática. Oficialmente, a regra prática mais comum é *1 táxi para cada 1000 habitantes*, mas mesmo nas cidades que determinam esta regra como forma de planejamento não se utilizam de forma operacional, e sim operam com uma relação maior entre veículos e habitantes. Mesmo assim, o serviço de táxi ainda opera superdimensionado em grande parte dos casos.

Um modelo utilizado para indicar a alternativa de oferta mais adequada, quando se trata da operação do serviço de transporte por táxi, deve levar em consideração os padrões de demanda observados na realidade. Esses padrões devem ser considerados tanto em relação às viagens produzidas em cada zona de tráfego, conhecendo o local e o instante em que a viagem é solicitada, ao longo do dia, quanto em relação aos destinos dessas viagens.

Uma dada distribuição de surgimento da demanda de transporte por táxi é influenciada pelo tipo de atividade desenvolvida em cada zona de tráfego, onde se origina a viagem; portanto, cada zona de tráfego apresenta sua distribuição peculiar. Além disso, a distribuição de surgimento da demanda se apresenta também de maneira diferente ao longo do dia, dentro de uma mesma zona de tráfego; este fato é devido à mudança da característica de zona de atração para geração ou vice-versa, ao longo do dia.

A seleção da alternativa mais adequada para o sistema de táxi, em qualquer área urbana, depende de elementos referentes tanto ao custo do transporte por táxi, quanto ao nível do serviço oferecido à população.

Após selecionada a alternativa mais adequada para operar o sistema de transporte por táxi, o tamanho da frota de veículos deve ser dimensionado para manter o equilíbrio entre os tempos de espera. Os tempos de espera são referentes tanto aos usuários para serem atendidos, quanto aos motoristas para realizarem o serviço.

Poucos modelos existentes tratam do serviço de transporte por táxi e, nenhum modelo de simulação encontrado na literatura trata interativamente da oferta e demanda do sistema de táxi a nível desagregado. Também, não existe "pacote" de simulação para uso específico de transporte por táxi e, "pacotes" de simulação para uso geral disponíveis não são suficientes para reproduzir a situação real desse sistema, em virtude das peculiaridades do mesmo.

Em relação aos componentes da demanda, pode-se dizer que a simulação da chegada sucessiva de usuários ao sistema de táxi deve ser realizada utilizando a distribuição de tempo entre solicitações sucessivas para cada período do dia, de modo que a razão média de solicitação por unidade de tempo seja considerada constante. E, a simulação de distribuição das viagens por táxi deve ser realizada utilizando a distribuição de probabilidade de ocorrer um determinado destino para cada período do dia, de forma que o padrão de distribuição de viagens para cada destino possa ser considerado fixo.

Quanto aos componentes da oferta, pode-se concluir que a simulação do sistema deve ser realizada inicialmente com o tamanho de frota que opera no sistema real, obedecendo a quantidade de táxis em cada ponto dentro de uma mesma zona de tráfego; posteriormente, o sistema deve ser simulado alterando-se o tamanho de frota total e o número de veículos por zona, possibilitando uma análise de sensibilidade do serviço em relação a variação deste componente. O tempo de viagem por táxi deve ser simulado considerando a alteração do valor encontrado em períodos de pico de viagem e em períodos fora pico, para uma mesma ligação.

Os resultados apresentados através das Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5 indicam que o modelo de simulação proposto para operação de táxi com viagens exclusivas reproduz bem a geração e a distribuição de viagens entre zonas de tráfego, pois a diferença entre os valores observados na prática e a média das cinco simulações foi pequena para: (a) viagens geradas em cada zona de tráfego e (b) distribuição espacial de viagens entre pares de zonas de tráfego. O serviço de táxi da cidade de Bauru opera apenas com a alternativa de pontos privativos, por isso a verificação da adequabilidade do modelo de simulação desenvolvido foi realizada apenas para esse tipo de operação do sistema.

É sustentável a hipótese considerada no modelo de que, em alguns períodos de tempo, a espera até conseguir um passageiro no ponto mais próximo ao destino do

usuário pode ser maior do que a espera no sistema. Isto explica o porquê de os valores obtidos de distância média de viagem entre as ligações para a alternativa de oferta com pontos livres não serem sempre iguais à metade dos valores para a alternativa com pontos privativos.

Em algumas circunstâncias, a distância média de viagem entre ligações através da operação com pontos livres é maior do que a distância média, entre as mesmas ligações, através da operação com pontos privativos. Este fato ocorre quando o motorista percorre uma distância maior ao procurar um ponto de táxi para estacionar do que a distância que percorreria ao voltar para o ponto de origem.

Apesar disso, a quilometragem total diária percorrida pela frota de táxis, para atender a mesma demanda, operando com a alternativa de pontos livres é aproximadamente 83,80% da quilometragem total percorrida pela frota de táxis operando com a alternativa de pontos privativos, para o sistema de táxi da cidade de Bauru. E, a quilometragem total diária, utilizando rádio táxi seria 79,6% da quilometragem rodada pela frota operando com pontos privativos para o mesmo sistema. A redução de quilometragem percorrida mostra que se pode diminuir a ociosidade do sistema de táxi, através de racionalização do serviço oferecido.

Mas, apenas a redução de quilometragem percorrida não é suficiente para definir o tipo de operação do sistema, pois os custos de operação podem onerar o sistema de táxi existente ao implantar uma outra alternativa de oferta do serviço sem realizar alterações em elementos essenciais ao sistema, tal como o tamanho de frota. Os resultados obtidos através da realização do estudo de caso exemplificam esse fenômeno. Se o sistema de táxi da cidade de Bauru passasse a operar, com a mesma frota, através da alternativa com pontos livres, economizar-se-iam 0,97% do custo total mensal; mas, se passasse a operar utilizando rádio táxi, o custo do sistema aumentaria um valor da ordem de 3,6% ao mês, que é referente ao custo de implantação e operação do sistema de controle e comunicação por rádio. A pequena

diferença percentual, em relação à redução de custo para a alternativa com pontos livres, deve-se à estrutura de custo do sistema de táxi, na qual a influência do custo variável é pequena quando comparado com o custo total.

O tamanho de frota de táxis é diretamente proporcional ao custo total mensal de operação do sistema, assim uma redução de frota implica que o sistema passa a operar com custos mais baixos. Por outro lado, o tempo de espera, tanto por parte dos motoristas para realizar uma viagem, quanto por parte dos usuários para serem atendidos, não é diretamente influenciado pelo tamanho de frota, e sim da relação entre o número de solicitações e o número de veículos em cada ponto. Entretanto, o número total de táxis e o número de veículos em cada ponto devem ser programados para realizar o serviço de modo que, de um lado, o usuário não espere muito pelo serviço, e de outro, o sistema não seja superdimensionado, o que provoca tempo de espera muito grande por parte do motorista para realizar uma viagem.

Assim, para que um sistema de transporte por táxi seja racionalizado pode ser necessário mudar, além do tipo de operação do serviço, o tamanho de frota. Esta conclusão é exemplificada pelo estudo de caso realizado, pois através de uma série de simulações com análise de sensibilidade, alterando o tamanho de frota total e o número de veículos em cada ponto de táxi, observou-se que se o serviço de táxi em Bauru operasse com 67% da frota atual, utilizando a alternativa com pontos livres, obter-se-ia uma economia mensal de 33% do custo de operação e, com 50% da frota atual, utilizando rádio táxi, obter-se-ia uma economia mensal de 44% do custo de operação. No primeiro caso, os motoristas esperariam 4,9 minutos para realizarem uma viagem e, no segundo caso esperariam 3,7 minutos, em contrapartida à operação atual que os motoristas esperam 7 minutos; estes valores de tempo de espera são relativos a espera média no sistema para a frota total e ao longo do dia. Nas três situações comentadas, os usuários não esperam até que sejam atendidos, isto é, existe sempre táxi disponível quando os usuários solicitam o serviço.

5.2. RECOMENDAÇÕES

Ao coletar os dados de origem-destino das viagens, deve-se orientar os motoristas de táxi, já que os dados são obtidos pelos mesmos, da necessidade de clareza e segurança das informações. Os locais de embarque e desembarque dos passageiros devem ser citados com clareza, de modo que seja possível localizá-los dentro de uma determinada zona de táxi. Os dados referentes à hora e quilometragem de saída e chegada ao ponto, para cada viagem, devem ser baseados em relógios de tempo e quilometragem em bom funcionamento.

Os arquivos de dados são do tipo arquivo-texto, por esta razão o usuário do programa deve tomar precauções ao digitar os dados de entrada, uma vez que cada célula das matrizes é separada por um espaço em branco e cada linha se refere a uma zona de tráfego.

O programa de computador desenvolvido não apresenta uma configuração aperefeiçoada, tal como "janelas de *menu*", portanto o operador deve utilizar as facilidades da própria linguagem de computador (Turbo Pascal) para operar o programa.

O programa está limitado ao tamanho dos campos determinados através das dimensões de vetores e matrizes, definidos no corpo do programa. Assim, o operador deve observar esses limites ao simular uma determinada situação.

Ao realizar um estudo de caso, onde não há viagens de táxi produzidas em todas as zonas de tráfego, mas sim existe apenas algumas zonas de tráfego que produzem todas as viagens geradas através do sistema, recomenda-se que os arquivos

de entrada de dados referentes às zonas de origem sejam compostos somente pelo número de zonas que efetivamente produzem viagens por táxi.

No caso em que o número de zonas de tráfego seja relativamente grande, a quantidade de viagens produzidas seja significativa e o período de simulação desejado seja próximo a 24 horas, recomenda-se que a simulação seja realizada em uma máquina de maior memória e poder de processamento.

5.3. SUGESTÕES

O tempo de viagem por táxi é uma variável aleatória, pois depende das condições de tráfego no instante de solicitação do serviço. Além disso, o tempo de viagem entre um par de zonas de tráfego é obtido através da média de todas as viagens ocorridas entre esse par. Como as zonas de tráfego não são pontuais, as distâncias e os tempos geralmente diferem entre si, variando dentro de uma faixa de valores. Portanto, para obter-se resultados mais precisos sobre oferta de transporte por táxi, deve-se ajustar distribuições de frequência de tempos de viagem, para cada período do dia, e calcular o tempo de viagem numa dada ligação, seguindo a função de probabilidade para aquele período de tempo. A matriz de tempos médios de viagem, utilizada no modelo proposto foi com o intuito de facilitar o processo de simulação do transporte por táxi.

Da mesma forma, sugere-se que utilize dados de velocidade operacional dos veículos como uma variável aleatória, pois esta também depende das condições de tráfego ao realizar a viagem. O processo de obtenção dos valores de velocidade deve ser semelhante ao sugerido para o tempo de viagem. Então, distribuições de

freqüência de velocidades operacionais devem ser ajustadas, para cada período do dia, em relação a ligações entre duas determinadas zonas de tráfego.

A determinação da distância de cada viagem pode ser obtida através da equação $d = vt$, onde d é a distância de viagem entre uma dada ligação, v é a velocidade operacional entre a ligação, e t é o tempo de viagem entre a origem e o destino. Substituindo os valores de v e t , encontrados através de curvas de freqüência, ajustadas para períodos de tempo ao longo do dia, então é possível determinar valores diferentes de distância de viagem ao longo do dia. Este processo fornece valores mais realistas (uma vez que as médias diárias são diferentes, como já foi comentado anteriormente) do que aquele que utiliza valores médios através de uma matriz de distâncias de viagem entre as ligações.

Quanto à alternativa de operação de táxi com pontos livres, sugere-se que seja realizado um estudo sobre o comportamento do motorista ao decidir se fica no ponto mais próximo ou procura outro ponto para estacionar o veículo. A decisão do motorista deve ser traduzida através de uma relação entre o número de chegadas de usuários e o número de táxis estacionados no ponto, quando o veículo chega ao ponto mais próximo do destino do usuário.

E por fim, sugere-se que estudos futuros reúnem, em um só programa de computador, os programas computacionais referentes às alternativas de operação com pontos privativos, pontos livres e rádio táxi. Pesquisas futuras poderão facilitar a manipulação do programa de forma que possa ser operado por qualquer usuário e, tornar possível a associação do programa com um "pacote" de simulação com base geográfica do tipo SIG (Sistema de Informação Geográfica).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABKOWITZ, Mark D.; OTT, Marian T. (1980). *Review of Recent Demonstration Experiences with Paratransit Services*. Transportation Research Record, n.778, pp.13-18.
- ADEBISI, O. (1980). *A Theoretical Travel-Time Model for Flexible-route Buses*. Transportation Research Board, Great Britain, v.14B, pp.319-330.
- ALVES, Giberto Pinos (1985). *Sistema de Táxi Lotação de Porto Alegre*. In: ENCONTRO TÉCNICO ENTRE PAÍSES LATINO-AMERICANOS SOBRE TRANSPORTES URBANOS, I, Brasília, 1985. Anais. pp.7-93.
- ANTP; EESC; FEIS; CEPAM (1994). *Táxi - Caracterização dos serviços de táxi no Brasil*. ANTP. São Paulo. 18p.
- BANKS, Jerry; CARSON II, John S. (1984). *Discrete Event System Simulation*. Englewood Cliffs, New Jersey. Prentice-Hall Inc. 514 p.
- BILLHEIMER, J. W.; Lucas, G. R.; WILMUTH, R. W. (1979). *Review and Assesment of Paratransit Models*. Transportation Research Record, n.724, pp.29-34.
- BRASILEIRO, Luzenira Alves (1990). *Simulação de Eventos de Tráfego numa Rota em Área Urbana*. Campina Grande. 122p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Paraíba - Campus II.
- BRASILEIRO, Luzenira Alves; KAWAMOTO, Eiji (1994a). *Avaliação e Comparação das Formas de Operação do Transporte por Táxi com Viagens Exclusivas: Um Modelo de Simulação*. In: VII Congresso Panamericano de Ingenieria de Tránsito y Transportes. México, D. F. Anais. Tomo II, pp.1436-1451.
- _____. (1994b). *Um Modelo de Simulação para Análise Comparativa entre Formas de Operação do Transporte por Táxi com Viagens*

- Exclusivas*. In: 8 Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Recife. Anais, Volume II, pp.475-486.
- BRITTON, Francis E.K. (1986). *Taxicab Transportation: International Structures, Trends, and Prospects to 1990 - First Report on an International Policy Survey for Concerned Public Agencies*. Transport Policy and Decision Making, v.3, pp.341-356.
- BULGREN, Willian G. (1982). *Discrete System Simulation*. Englewood Cliffs, New Jersey. Prentice-Hall Inc.
- CHANG, Shyue Koong; SCHONFELD, Paul M. (1991). *Optimization Models for Comparing Conventional and Subscription Bus Feeder Services*. Transportation Science, v.25, n.4, pp.281-298. Operations Research Society of America.
- DIAS, João Luiz da Silva (1993). *Administração da Oferta de Táxi*. In: 9º. CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS, Florianópolis, pp. 50-55.
- EMDURB - EMPRESA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO E RURAL DE BAURU (1990). *Relatório da Primeira Pesquisa de Táxi*. São Paulo. EMDURB, 5p.
- _____. (1991). *Divisão de Regiões*. São Paulo. EMDURB, 1p.
- ENGLISHER, Larry S.; SOBEL, Kenneth L. (1977). *Methodology for the Analysis of Local Paratransit Options*. Transportation Research Record, n.650, pp.18-24.
- FIGUEIRA, Horácio Augusto (1989). *Estudo de Demanda Potencial para a Implantação de Sistema de Táxi Coletivo - Área Piloto*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTES PÚBLICOS, 7, Rio de Janeiro, 1989. *Anais*. Rio de Janeiro, ANTP, pp.45-61.
- FARRIS, Martin T.; HARDING, Forest E. (1976). *Passenger Transportation*. New Jersey, Prentice-Hall.

FERGUSON, Erik T. (1990). *Evaluation of Employer - Sponsored Ridesharing Programs in Southern California*. Transportation Research Record, n.1280, pp.59-72. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

KAWAMOTO, Eiji (1994a). *Análise de Sistemas de Transporte*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, publicação 043/94, 2ª ed., 229p.

_____ (1994b). *Modelo Semi-Compensatório de Escolha Modal em Transporte de Passageiros*. São Carlos. 96p. Tese (livre-docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

KNUTH, Donald E. (1969). *The Art of Computer Programming. Seminumerical Algorithms - vol.2*. United States of America, Addison-Wesley Publishing Company, Inc, 624p.

LAGASSE III, Alfred B. (1986). *An Industry Comment on Regulatory Change*. Transportation Research Record, n.1103, pp.19-23.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. (1991). *Simulation Modeling and Analysis*. New York, McGraw-Hill, 2ª ed.

LEE, E. S. W. (1989). *Planning and Control of Paratransit Services in Hong Kong*. Transport Reviews, n.4, v.9, pp.279-303.

LEWIS, P. A. W.; GOODMAN, A. S.; MILLER, J. M. (1969). *A Pseudo-Random Number Generator for the System/360*. IBM System Journal, n.2, pp.136-146.

MACDOUGALL, M. H. (1987). *Simulation Computer System, Techniques and Tools*. Massachusetts, MIT Press.

MARCHESONI, Elisa Maria de A. S. F. (1994). *Análise de Eficiência de Simulação com Números Aleatórios Antitéticos em Fila M/M/1 com Realimentação Bernoulli*. São Carlos, 77p. Dissertação (mestrado) - Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MILLER, Gerald K. (1977). *Taxicab Feeder Service to Bus Transit*. Transportation Research Record, n.650, pp.1-7.

_____ (1991). *High Occupancy Vehicle Modeling Technique*. Journal of Transportation Engineering, v.117, n.5, pp.497-512.

MITRANI, I. (1982). *Simulation Techniques for Discrete Event Systems*. Cambridge, Cambridge University Press, 185p.

MORRIS, Anne G. (1989). *Taxi School: a First Step in Professionalizing Taxi Driving*. Transportation Research Record, n.1103, pp.40-48.

NASH, C. A. (1982). *Economics of Public Transport*. U.S.A., Longman, pp.78-81.

NAYLOR, Thomas H.; BALINTFY, Joseph L.; BURDICK, Donald S.; CHU, Kong (1971). *Técnicas de Simulação em Computadores*. Trad. Edmundo E. Teixeira. São Paulo, Ed. Vozes Ltda.

NICHOLS, Neal C. (1976). *Servicing the Industrial and Government Complex*. Transportation Research Record, Arlington, Virginia, n.608, pp.81-83.

PAMPOLHA, Vânia Maria Pessoa (1992). *Racionalização do Serviço de Táxis nas Cidades Médias - Avaliação para a Cidade de Bauru*. São Carlos. 77p. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PAMPOLHA, Vânia M. P.; BRASILEIRO, Luzenira A.; SILVA, Antônio N. R.; FERRAZ, Antônio C. P. (1993). *Características Gerais do Serviço de Táxis e o Caso das Cidades Médias Brasileiras*. In: CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS, 9, Florianópolis, 1993. Anais. Florianópolis, pp.44-49.

PASRICHA, P.S. (1991). *Using Traffic Management to Turn a Problem into a Profit: the Share-a-Cab Experiment*. ITE Journal, v.61, n.2, pp.31-36.

PMC- PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA (1990). *Decreto nº 18, artigo 21*. Curitiba, Paraná, 30p.

- RIPLEY, Brian D. (1987). *Stochastic Simulation*. USA, John Wiley & Sons, Inc., 237p.
- SAKA, Anthony A. (1992). *LGG System For Emergency Response Applications*. Journal of Surveying Engineering. University of Houston. Vol. 118, n. 3, pp. 90-98.
- SAMUELS, Robert E. (1976). *Exclusive - Ride Taxicab Service*. Transportation Research Record, n.608, pp.113-116.
- SANTOS, Carlos Aparecido dos (1994). *Análise de Comprimento de Simulação Através do procedimento Seqüencial de Law e Carson*. São Carlos. 80p. Dissertação (mestrado). Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- SCHRAGE, Linus (1979). *A More Portable Fortran Random Number Generator*. Chicago. ACM Transactions on Mathematical Software, Volume 5, n. 2, pp.132-138.
- SILCOCK, D. T. (1986). *Bus or Paratransit?: The Issues Involved*. Transportation Planning and Technology, United Kingdom, v.10, pp.305-322.
- SILVA, Antônio Nelson Rodrigues da (1993). *O Custo do Solo Urbano e uma Nova Sistemática de Tributação da propriedade*. Tese (doutorado). São Carlos. 137p. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- SMITH, O. L. (1991). *Computer-Assisted Flexible Routing of Mass Transit Bus Systems*. Transportation Quarterly, Westport, Connecticut, Eno Transportation Foundation, Inc., v.45, n.4, pp.581-597.
- SOARES, Luiz Fernando G. (1990). *Modelagem e Simulação Discreta de Sistemas*. São Paulo. 250p. VII Escola de Computação.
- SOBEL, Kenneth L.; ALSCHULER, David M. (1980). *Paratransit Planning: Application of a Systematic, Market-Oriented Planning and Programming Process*. Transportation Research Record, n.778, pp.45-50.

SOUZA, André T. P.de; NASSI, Carlos D. (1993). *Uma Contribuição a Solução do Problema de Roteamento Considerando os Objetivos Conflitantes dos Usuários e Operadores (Sistema de Ônibus Fretado)*. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE TRANSPORTE PÚBLICO, 6, San José, Costa Rica. Anais, pp.279-289.

SPIEGEL, Murray R. (1978). *Probabilidade e Estatística*. Trad. Alfredo Alves de Faria. Editora McGraw-Hill do Brasil, Ltda. São Paulo.

THAYER, Maria (1992). *Effectiveness of a Statewide Ridesharing Promotion: California Rideshare Week*. Transportation Research Record, n.1338, pp.94-101.

VUCHIC, Vukan R. (1981). *Urban Public Transportation - Systems and Technology*. New Jersey, Prentice-Hall, 673p.

ZIEGLER, Eldon (1977). *Integrating Transit and Paratransit*. Transportation Research Record, n.650, pp.66-69.

BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

ALLISON, William S.; LEVINSON, Herbert S.; BLOCH, Arnold (1986). *New York City's For-Hire Van Services: Blessing or Curse?* Transportation Research Record, n.1103, pp.23-32.

ARDEKANI, Siamak A.; JAMEI, Bahram; HERMAN, Robert (1986). *A Taxicab Fare Policy Formula Based on Fuel Consumption Observations*. Transportation Research Record, n.1103, pp.33-39.

ASSMANN, Plínio Oswaldo (1978). *O Lugar dos Diferentes Modos de Transporte Coletivo*. Revista dos Transportes Públicos - ANTP, n.1, pp.49-69.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (1993). *Gerenciamento de Transporte Público Urbano - Instruções Básicas / Manual 7 - Administração dos Serviços de Táxi*. ANTP, São Paulo, 108p.

BULLARD, Diane L. (1991). *Analysis of Carpool Survey Data from the Katy, Northwest, and Gulf Transitways in Houston, Texas*. Transportation Research Record, n.1321, pp.73-81.

CARROLL, David W. (1988). *Programação em Turbo Pascal*. [tit. original]. Trad. Valdêncio Ortiz de Souza. São Paulo, Ed. McGraw-Hill. 392p.

CET-COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO (1980). *Transporte solidário*. 14p.

CHRISTIANSEN, Dennis L. (1988). *Status and Effectiveness of the Houston High-Occupancy-Vehicle Lane System*. Transportation Research Record, n.1280, pp.119-130. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

_____. (1990). *Implications of Increasing Carpool Occupancy Requirements on the Katy Freeway High - Occupancy - Vehicle Lane in Houston, Texas*. Transportation Research Record, n.1280, pp.111-118. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

- COLLURA, John; ASCE, M.; WARREN, Robert P. (1979). *Regional Paratransit Services: an Evaluation*. Transportation Engineering Journal, v.105, n.TE6, pp.683-697.
- COLMAN, S.T. (1980). *Recent Developments in the Revision of Taxi Regulations in Seattle and San Diego*. Transportation Research Record, n.778, pp.19-24. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- COSTA NETO, Pedro Luiz de Oliveira (1977). *Estatística*. São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda.
- DUNIN, Lubomir Ficinski; et al. (1980). *Estudo de Inter-relação Uso do Solo/Transporte*. Revista Paranaense de Desenvolvimento, n.70, p.9-53. Curitiba.
- FARRER, Harry; et al. (1985). *Programação Estruturada de Computadores - Pascal Estruturado*. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara S.A.
- FERRAZ, Antônio C.P. (1991). *Modos de Transporte Público Urbano*. Notas de aula do Curso de Transporte Público Urbano, pp.12-16. EESC/USP, São Carlos/SP. / Mimeografado.
- FERREIRA, Aurélio B.H. (1986). *Novo Dicionário da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro, Ed. Nova Fronteira S.A.
- FISHER, Ronald; GOODMAN, Joseph; SIMKOWITZ, Howard (1980). *Priority Treatment for High Occupancy Vehicles in the United States: A Review of Recent and Forthcoming Projects*. ITE Journal, pp.10-16.
- FLUSBERG, Martin; MENHARD, H. Robert; WALKER, Joan M. (1979). *Integrated Paratransit: Myths and Realities*. Transportation Research Record, n.724, pp.22-28.
- FRANKENA, N; PAUTLER (1986). *Economic Analysis of Taxicabs Regulation*. Transportation Research Record, n.1103, pp.2-5.

- GHAHRAMAN, D. E.; AU, T.; ASCE, F.; BAUMANN, D. M. B. (1981). *Fare Calculation for Metered Ride Sharing Vehicles. Transportation Engineering Journal*, v.107, n.TE2, pp.105-117.
- HUTCHINSON, B. G. (1979). *Princípios de Planejamento dos Sistemas de Transporte Urbano*. Trad. Henrique Oswaldo Monteiro de Barros. Editora Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro.
- JOHNSON, Christiane M.; McKNIGHT, Claire; PAGANO, A. M.; ROBINS, L. (1978). *Analysis of Taxicab Industry in Chicago Metropolitan Area*. Transportation Research Record, n.863, pp.20-33.
- KIRBY, Ronald F. (1986). *Paratransit Regulatory Revisions: What Are We Learning?* Transportation Research Record, n.1103.
- KUMAR, Ajay; MOILOV, Margaret (1991). *Vanpools in Los Angeles*. Transportation Research Record, n.1321, pp.103-108.
- LAVENBERG, S. S.; SAUER, C. H. (1977). *Sequential Stopping Rules for the Regenerative Method of Simulation*. IBM J. Res. Logist. Quart., n.24, pp.545-558.
- LOPES, Miriam Bettina P. O. (1985). *Pequena História dos Transportes Públicos de São Paulo*. São Paulo, Companhia Municipal de Transportes Coletivos - CMTC.
- MARONEY JR, Dan V. (1976). *Paratransit Development: Search for an Appropriate Labor Policy*. Transportation Research Record, n.608, pp.117-120.
- MEYER, Paul L. (1973). *Probabilidade - Aplicações à Estatística*. Rio de Janeiro, Livros Tecnicos e Científicos Editora S.A.
- MUNDY, Ray A.; LANGLEY JR, C. John; STULBERG, Laurr (1985). *Determination of the Appropriate Number of Taxicabs to Serve an Airport*. Transportation Research Record, n.1205, pp.14-22.

MIERZEJEWSKI, Edward A. (1991). *Transportation - Demand Management for Quality Development*. Journal of Urban Planning and Development, v.117, n.3, pp.77-84.

NEWELL, G. F. (1982). *Applications of Queueing Theory*. USA, Chapman and Hall.

NOVAES, Antônio Galvão (1975). *Pesquisa Operacional e Transportes: Modelos Probabilísticos*. São Paulo, Ed. da Universidade de São Paulo/Ed. McGraw-Hill do Brasil, Ltda.

O'CONNELL, Brian F. (1969). *Conducting Transportation System Management Studies of Taxicabs: Lessons from the Milwaukee Experience*. Transportation Research Record, n.914, pp.60-66.

ORTÚZAR, Juan de Dios; WILLUMSEN, Luis G. (1990). *Modelling Transport*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 375p.

PAMPOLHA, Vânia M. P.; FERRAZ, Antônio C. P.; SILVA, A. Nelson R. (1990). *Sistema de Operação Alternativo para Táxis nas Cidades Médias - Avaliação para o caso da Cidade de São Carlos*. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPET, 4, Porto Alegre, 1990. Anais.

PARK, Christopher (1992). *Evaluation of Second-Year Effectiveness of Guaranteed Ride Home Service at Warner Center Transportation Management Organization*. Transportation Research Record, n.1338, pp.90-93.

PHILLIPS, Don T.; RAVINDRAN, A.; SOLBERG, James (1976). *Operations Research: Principles and Practice*. Canadá, John Wiley & Sons, Inc., 585p.

PINT, Allan E.; ZIMMER, Charleen A.; LOETTERLE, Francis E. (1990). *Role of High-Occupancy-Vehicle Lanes in Highway Construction Management*. Transportation Research Record, n.1280, pp.131-140.

PMSP - PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO (1990). *Decreto nº 28.570*. São Paulo, S.P.

- POLENA, Cosette; GLAZER, Lawrence Jesse (1991). *Examination of 11 Guaranteed Ride Home Programs Nationwide*. Transportation Research Record, n.1321, pp.57-65.
- RAMALHO JR, Francisco; et al. (1976). *Os Fundamentos da Física - volume I: Mecânica*. São Paulo, Ed. Moderna Ltda.
- RENO, Arlee T.; GELLERT, William A.; VERZOSA, Alex (1989). *Evaluation of Springfield Instant Carpooling*. Transportation Research Record, n.1212, pp.52-62. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- SETTI, Jose Reynaldo Anselmo (1990). *Passenger Terminal Simulation Model*. Tese (doutorado). Ontario.180p. University of Waterloo.
- SISTEMA DE TRANSPORTES DE SOROCABA (1991). *Novo Regulamento de Táxis de Sorocaba*. Sorocaba, Publ. Empresa de Desenvolvimento Urbano e Social de Sorocaba - URBES.
- SMT/SP - SECRETARIA MUNICIPAL DE TRANSPORTES (1989). *Cálculo da Tarifa de Táxi - Relatório Técnico*. São Paulo, Departamento de Transportes.
- SOBEL, Kenneth L. (1979). *Hybrid Paratransit Service*. Transportation Research Record, n.724, pp.15-22.
- SUZUKI, Peter T. (1985). *Vernacular Cabs: Jitneys and Gypsies in Five Cities*. Transportation Research - A, v.19A, n.4, pp.337-347. USA.
- TARRIUS, A. *Anthropologie du Mouvement*. Transports et Communication. Université D'Aix - Marseille II (CRET), pp.113-129.
- TEAL, R. F.; MARKS, I. V.; GOODHUE, R. E. (1980). *Subsidized Shared-Ride Taxi Services*. Transportation Research Record, n.778, pp.25-32.
- TEAL, Roger F.; GOODHUE, Richard E.; ROONEY, Steven B.; MORTAZAVI, Kia (1982). *Taxi - Based Public Transportation for the Elderly and the Handicapped*. Transportation Research Record, n.863, pp.26-32.

TRANSPORTE MODERNO (1971). *Quem Manda na Frota é o Índice de Ocupação*. São Paulo, Transporte Moderno, n.93, pp.28-31.

_____ (1972). *Táxis não Trazem de Volta o Investimento*. Transporte Moderno, n.106, pp.44-52. São Paulo, Ed. Abril.

TURNBULL, Katherine F. (1992). *International High-Occupancy Vehicle Facilities*. Transportation Research Record, n.1360, pp.126-137.

WIDMER, João Alexandre (1989). *Contribuição à Análise de Problemas de Filas e Estoques nos Transportes*. São Carlos. Tese (livre-docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

APÊNDICE I

TÉCNICAS PARA GERAR NÚMEROS ALEATÓRIOS

As técnicas descritas neste apêndice são as seguintes: método do quadrado dos dígitos intermediários, técnica do produto dos dígitos intermediários, técnica do multiplicador constante, método congruencial aditivo e método congruencial linear. Existem ainda outras técnicas para gerar números aleatórios, tais como: método congruencial quadrático e sequência Fibonacci (KNUTH, 1969), gerador para o SISTEM/360 (LEWIS et al., 1969), gerador portátil do FORTRAN (SCHRAGE, 1979), gerador com troca de registro (RIPLEY, 1987), função de gerador "simpl" (MACDOUGALL, 1987) e gerador "Tausworth" (LAW & KELTON, 1991).

1.1. Método do Quadrado dos Dígitos Intermediários

Este método foi proposto, segundo BANKS and CARSON II (1984), por von Neumann e Metropolis em meados de 1940.

A técnica começa com um número inicial ou semente. Esse número é elevado ao quadrado e o dígito intermediário desse quadrado se torna o número aleatório, após a colocação do decimal. Os dígitos intermediários são, então, elevados ao quadrado para gerar o segundo número aleatório. A técnica continua neste modo.

Esta técnica é mais de interesse histórico do que prático, pois há um número de problemas para utilizá-la. Em primeiro lugar, é difícil determinar condições gerais simples para escolher uma semente de modo que a sequência não degenera e tenha um período longo. Um outro problema é que a técnica pode degenerar tanto caminhando para um valor zero, quanto para um valor que é repetido.

Exemplo:

Suponha que uma sequência de números aleatórios com quatro dígitos é necessária. Inicia-se com uma semente igual a 5497. Faz-se X_i o i -ésimo valor a ser elevado ao quadrado e R_i o i -ésimo número aleatório. Então, tem-se:

$$X_0 = 5497$$

$$X_0^2 = (5497)^2 = 30.217.009 \Rightarrow X_1 = 2170 \Rightarrow R_1 = 0,2170$$

$$X_1^2 = (2170)^2 = 4.708.900 \Rightarrow X_2 = 7089 \Rightarrow R_2 = 0,7089$$

$$X_2^2 = (7089)^2 = 50.253.921 \Rightarrow X_3 = 2539 \Rightarrow R_3 = 0,2539$$

...

1.2. Técnica do Produto dos Dígitos Intermediários

Similar ao método do quadrado dos dígitos intermediários, a técnica do produto dos dígitos intermediários inicia selecionando duas sementes X_0 e X_0' , cada uma apresentando o mesmo número de dígitos. Multiplica-se X_0 por X_0' para obter um número U_1 . Faz X_1 igual aos dígitos intermediários de U_1 . Com a colocação do decimal, obtém-se R_1 . Depois, multiplica X_0 por X_1 para se obter U_2 . Coloca-se o decimal para obter R_2 .

Exemplo:

Use a técnica do produto dos dígitos intermediários para gerar uma sequência de número aleatórios com quatro dígitos, para $X_0' = 2938$ e $X_0 = 7229$.

$$U_1 = X_0' X_0 = (2938)(7229) = 21.238.802 \Rightarrow X_1 = 2388$$

$$\Rightarrow R_1 = 0,2388$$

$$U_2 = X_0 X_1 = (7229)(2388) = 17.262.852 \Rightarrow X_2 = 2628$$

$$\Rightarrow R_2 = 0,2628$$

$$U_3 = X_1 X_2 = (2388)(2628) = 6.275.664 \Rightarrow X_3 = 2756$$

$$\Rightarrow R_3 = 0,2756$$

...

1.3. Técnica do Multiplicador Constante

Uma pequena variação da técnica do produto dos dígitos intermediários é usar um multiplicador constante, k .

A constante é multiplicada pela semente X_0 . Tanto a constante quanto a semente apresentam D dígitos. O resultado é um valor V_I . Os quatro dígitos intermediários são tomados para se tornar X_I . Com a colocação do decimal, obtém-se R_I e, assim por diante.

O sucesso deste método é dependente da seleção da constante.

Exemplo:

Use a técnica do multiplicador constante, com $k = 3987$ e $X_0 = 7223$, para obter uma sequência de números aleatórios com quatro dígitos.

$$V_1 = KX_0 = (3987)(7223) = 28.798.101 \Rightarrow X_1 = 7981$$

$$\Rightarrow R_1 = 0,7981$$

$$V_2 = KX_1 = (3987)(7981) = 31.820.247 \Rightarrow X_2 = 8202$$

$$\Rightarrow R_2 = 0,8202$$

...

1.4. Método Congruencial Aditivo

É requerida uma seqüência de n números $X_1, X_2, \dots, X_n$. O gerador produz uma extensão da seqüência, ou seja, $X_{n+1}, X_{n+2}, \dots$

O método pelo qual os valores são gerados é da seguinte forma:

$$X_i = (X_{i-1} + X_{i-n}) \bmod m.$$

Por definição, $a = b \bmod m$ se $a-b$ é divisível por m , com zero como resto.

Exemplo:

Faça a seqüência de inteiros X_1, X_2, X_3, X_4 e X_5 ser 57, 34, 89, 92 e 16 (assim, $n=5$). Faça $m=100$. Esta seqüência pode ser ampliada usando o método congruencial ditivo, da seguinte forma:

$$X_6 = (X_5 + X_1) \bmod 100 = 73 \bmod 100 = 73$$

$$X_7 = (X_6 + X_2) \bmod 100 = 107 \bmod 100 = 7$$

$$X_8 = (X_7 + X_3) \bmod 100 = 96 \bmod 100 = 96$$

$$X_9 = (X_8 + X_4) \bmod 100 = 188 \bmod 100 = 88$$

$$X_{10} = (X_9 + X_5) \bmod 100 = 104 \bmod 100 = 4$$

$$X_{11} = (X_{10} + X_6) \bmod 100 = 77 \bmod 100 = 77$$

...

Números aleatórios podem ser gerados, através do método congruencial aditivo, usando a razão $R_{i-n} = X_i / m$, onde $i = n+1, n+2, \dots$

Utilizando os resultados do exemplo anterior, tem-se:

$$R_1 = X_6 / 100 = 0,73$$

$$R_2 = X_7 / 100 = 0,07$$

1.5. Método Congruencial Linear

O método congruencial linear, que foi proposto por Lehmen em 1951, segundo BANKS and CARSON II (1984), produz uma sequência de inteiros $X_1, X_2, \dots$, entre zero e $m-1$, de acordo com a seguinte relação: $X_{i+1} = (aX_i + c) \bmod m$, $i = 0, 1, 2, \dots$; onde:

X_0 = valor inicial ou semente

a - multiplicador constante

c - incremento

m - módulo.

A escolha dos valores de a , c , m e X_0 influenciam as propriedades estatísticas e o comprimento do ciclo.

Exemplo:

$X_0 = 27$, $a = 17$, $c = 43$ e $m = 100$. A sequência de X_i e valores subsequentes de R_i são calculados como segue:

$$X_1 = (17 \times 27 + 43) \bmod 100 = 502 \bmod 100 = 2$$

$$R_1 = X_1 / m = 2 / 100 = 0,02$$

$$X_2 = (17 \times 2 + 43) \bmod 100 = 77 \bmod 100 = 77$$

$$R_2 = X_2 / m = 77 / 100 = 0,77$$

$$X_3 = (17 \times 77 + 43) \bmod 100 = 1352 \bmod 100 = 52$$

$$R_3 = X_3 / m = 52 / 100 = 0,52$$

...

O gerador de número aleatório utilizado na linguagem PASCAL é o método congruencial linear multiplicativo com módulo primo, cujos valores iniciais são representados por $m = 2^{31} - 1$ e $a = 630.360.016$ (LAW & KELTON, 1991).

APÊNDICE II

TÉCNICAS PARA GERAR VARIÁVEIS ALEATÓRIAS

As técnicas descritas neste apêndice são as seguintes: método da transformação inversa, método da transformação direta da distribuição Normal, método da convolução, técnica de aceitação-rejeição e composição ou método misto. Existem ainda outras técnicas para gerar variáveis aleatórias, tais como: método da tabela e distribuições específicas - Geométrica, Binomial, Poisson (RIPLEY, 1987); função de geração de variáveis aleatórias *smp1* (MACDOUGALL, 1987); e método Bernoulli (LAW & KELTON, 1991).

II.1. Método da Transformação Inversa

A técnica da transformação inversa pode ser usada para amostra das distribuições Exponencial, Weibull e Uniforme, e das distribuições empíricas. Esta técnica é o princípio básico para amostragem de uma grande variedade de distribuições discretas. É a técnica mais simples, mas nem sempre é a técnica mais eficiente computacionalmente.

Para gerar variáveis aleatórias x_i de uma determinada população estatística, cuja função densidade de probabilidade é dada por $f(x)$, deve-se obter primeiro $F(x)$. A partir da função de distribuição $F(x)$, definida entre o intervalo 0 e 1, pode-se gerar números aleatórios uniformemente distribuídos e fazer $F(x) = R$.

A variável aleatória x é especificamente determinada por $R = F(x)$, desde que $F(x)$ seja uma função não decrescente de x . O valor de R indica a variável randômica uniforme. Portanto, para $R = R_0$ é possível encontrar $x = x_0$, isto é $x_0 = F^{-1}(R_0)$, onde $F^{-1}(R)$ é a transformação inversa de R no intervalo dentro do domínio de x .

Faça $R = F(x) = \int f(t)dt$.

Então $P[X \leq x] = F(x) = P[R \leq F(x)] = P[F^{-1}(R) \leq x]$.

E, portanto, $F^{-1}(R)$ é uma variável que tem $f(x)$ como sua função densidade de probabilidade.

Exemplo:

$$f(x) = 2x, 0 < x < 1$$

$f(x) = 0$, para qualquer outro intervalo.

$R = F(x) = \int 2t dt$, para o intervalo de 0 a x , então:

$$R = x^2, 0 < x < 1 \therefore x = F^{-1}(R) = \sqrt{R}, 0 < R < 1.$$

II.2. Método da Transformação Direta da Distribuição Normal

Muitos métodos têm sido desenvolvidos para gerar variáveis randômicas normalmente distribuídas. A técnica da transformação inversa não pode ser aplicada porque a inversa *cdf* não pode ser calculada analiticamente.

A *cdf* Normal padrão é dada por: $\Phi(x) = \int_{-\infty}^x (1/\sqrt{2\pi}) e^{-t^2/2} dt, -\infty < x < \infty$.

Para se usar a técnica da transformação inversa seria necessário tornar possível a solução de $\Phi(x) = R$ para x em termos de R , o que é impossível.

Então, este item descreve uma transformação direta que produz um par independente de variáveis do tipo Normal padrão, com média 0 e variância 1. Este método foi desenvolvido por Box e Muller em 1958 (BANKS and CARSON II, 1984). Embora o método não seja tão eficiente quanto técnicas mais modernas, mas ele é fácil de ser programado em uma linguagem científica, tal como FORTRAN.

Considera-se duas variáveis aleatórias do tipo Normal padrão, Z_1 e Z_2 , plotadas como um ponto no plano e representadas por coordenadas polares como Z_1

$= B \cos\theta$ e $Z_2 = B \sin\theta$. É sabido que $B^2 = Z_1^2 + Z_2^2$ tem a distribuição Qui-quadrada com 2 graus de liberdade, que é equivalente a uma distribuição Exponencial com média 2.

Assim, o raio B pode ser gerado pelo uso da equação: $B = (-2 \ln R)^{1/2}$.

Pela simetria da distribuição Normal, parece razoável supor, e na verdade é o caso, que o ângulo θ é uniformemente distribuído entre 0 e 2π radianos. O raio B e o ângulo θ , são mutuamente independentes.

Combinando as equações de Z_1 , Z_2 e B resulta em um método direto para gerar duas variáveis independentes do tipo Normal padrão, Z_1 e Z_2 , a partir dos números aleatórios independentes R_1 e R_2 , da seguinte forma:

$$Z_1 = (-2 \ln R_1)^{1/2} \cos(2\pi R_2) \text{ e}$$

$$Z_2 = (-2 \ln R_1)^{1/2} \sin(2\pi R_2).$$

Exemplo:

Tempos de serviço em um balcão de caixa são normalmente distribuídos com $\mu = 7,3$ minutos e variância $\sigma^2 = 11,7$ minutos². Para gerar um tempo de serviço típico, primeiro obtêm-se 12 números aleatórios de uma tabela.

Tabela II.2.1: Número aleatórios

0,1758	0,1489	0,2774	0,6033	0,9813	0,1052
0,1816	0,7484	0,1699	0,7350	0,6430	0,8803

Para ilustrar um esquema de geração, considerar $R_1 = 0,1758$ e $R_2 = 0,1489$.

Duas variáveis aleatórias do tipo Normal são geradas da seguinte forma:

$$Z_1 = [-2 \ln(0,1758)]^{1/2} \cos 2\pi(0,1489) = 1,11 \text{ e}$$

$$Z_2 = [-2 \ln(0,1758)]^{1/2} \sin 2\pi(0,1489) = 1,50.$$

II.3. Método da Convolução

A distribuição probabilística de uma soma de duas ou mais variáveis aleatórias independentes é chamada uma convolução das distribuições das variáveis originais. Assim, o método da convolução adiciona duas ou mais variáveis aleatórias para se obter uma nova variável aleatória com distribuição desejada. Esta técnica pode ser aplicada para se obter variáveis do tipo Erlang, variáveis distribuídas normalmente e variáveis binomiais.

Uma variável aleatória X do tipo Erlang com parâmetros (K, θ) pode ser representada como a soma de K variáveis aleatórias independentes exponenciais, X_i ($i = 1, \dots, K$), cada uma apresentando média igual a $1/K\theta$, e é determinada por $X = \sum X_i$.

Desde que cada X_i possa ser gerada pela equação $X_i = (-1/\lambda) \ln(1-R_i)$, com $1/\lambda = 1/K\theta$, uma variável do tipo Erlang pode ser gerada por $X = \sum (-1/K\theta) \ln R_i = (-1/K\theta) \ln(\prod R_i)$.

Exemplo:

Caminhões chegam em um grande depósito de mercadorias de uma forma completamente aleatória, que é modelada como um processo de Poisson com taxa de chegada $\lambda = 10$ caminhões por hora. O guarda, na entrada, despacha caminhões alternadamente para as docas norte e sul. Um analista desenvolveu um modelo para estudar o processo de carga/descarga na doca sul e, necessita de um modelo do processo de chegadas somente na doca sul. Um tempo de interchegada X , entre chegadas sucessivas de caminhões na doca sul, é igual à soma de dois tempos de interchegada na entrada e, assim, é a soma de duas variáveis aleatórias exponenciais, cada uma com média 0,1 hora ou 6 minutos. Assim, X apresenta a distribuição de Erlang com $K = 2$ e média $1/\theta = 2/\lambda = 0,2$ hora. Para gerar a variável X , primeiro

obtem-se $K = 2$ números aleatórios de uma tabela, e assume $R_1 = 0,937$ e $R_2 = 0,217$.

Então, tem-se que:

$$X = -0,1 \ln[0,937(0,217)] = 0,159 \text{ hora} = 9,56 \text{ minutos.}$$

II.4. Técnica de Aceitação-Rejeição

Suponha que se quer uma amostra aleatória de uma função densidade de probabilidade $f(x)$, com $a < x < b$ e $0 < f(x) < M$. Então, $0 < (f(x) / M) < 1$. Se R_1 é um número aleatório da densidade uniforme padrão, então (da definição de densidade uniforme) a probabilidade de que $R_1 \leq (f(x) / M)$ é igual a $f(x) / M$.

Suponha agora que se escolhe x_i dentro do intervalo $a < x < b$, selecionando um segundo número aleatório R_2 e, faça $x_1 = a + (b-a)R_2$. Pode-se usar este número se e somente se $R_1 \leq (f(x) / M)$.

Exemplo:

Gerar x da função $f(x) = 2x$, $0 < x < 1$ e, zero para qualquer outro intervalo.

Faça, $0 < f(x) \leq 2$ e $M = 2$. Então, tem-se os seguintes passos:

1. Obter dois números randômicos R_1 e R_2 .
2. Se $R_1 \leq (f(R_2) / 2)$, faça $x = R_2$.
3. Se $R_1 > (f(R_2) / 2)$, inicie tudo outra vez.
4. Repita até que a amostra aleatória seja obtida.

II.5. Composição ou Método Misto

Suponha que $F(x)$ pode ser expressa na seguinte forma:

$$F(x) = \sum a_i F_i(x) + (1 - \sum a_i) F_n(x), \text{ com } a_1, a_2, \dots, a_{n-1} > 0 \text{ e } \sum a_i < 1.$$

Um número aleatório R_I é obtido através da distribuição uniforme padrão. Por causa da restrição em a_i , se $S_j = \sum a_i$ para $j = 1, 2, \dots, n$ então há um valor m de j , tal que $S_{m-1} < R_I < S_m$. O número aleatório a ser usado é gerado utilizando um procedimento que gera números com distribuição F_m .

Exemplo:

Faça $n = 2$, $F(x) = pF_1(x) + (1-p)F_2(x)$.

Se $R < p$, então x é escolhido a partir de $F_1(x)$ (através do método da transformação inversa ou da técnica de aceitação-rejeição).

Se $R \geq p$, então x é escolhido através de $F_2(x)$.

APÊNDICE III

PROGRAMA PARA DEMANDA E PONTOS PRIVATIVOS

```

program PONTO;
uses crt,printer;
{ Geracao de chegadas de usuarios em zonas de taxi }

type matint = array [1..1,1..300] of integer; { Matriz do tipo inteira }
    matreal = array [1..1,1..300] of real;   { Matriz do tipo real }
    usuario = record
        A      : matreal; { Area da curva normal }
        dest   : matint;  { Destino do usuario }
        desvio, { Desvio de interchegada }
        H      : matreal; { Hora de chegada do usuario }
        media,  { Interchegada media }
        P,      { No randomico gerado para chegadas }
        PD,     { No randomico gerado para destinos }
        Pinf,   { Probabilidade inferior de chegadas }
        Psup   : matint; { Probabilidade superior de chegadas }
        T      : matreal; { Tempo de interchegada }
        Tinf,   { Tempo inferior de interchegada }
        Tsup   : matint; { Tempo superior de interchegada }
        ZZ     : matreal; { Variavel padronizada da curva normal }
    end;
taxi = record
    { Registro de cada taxi }
    corrida      : integer; { No. de corridas por taxi }
    ocupado      : boolean; { Condicao de servico do taxi }
    tempocupado : integer;  { Tempo de viagem do taxi }
end;

var arqus      :file of usuario;
    atend,     { Arquivo de usuarios-fichario }
    atezona,   { No. de taxis liberados }
    auxcote    :longint; { No. de pessoas atendidas na zona }
    auxlite    :integer; { Coluna da matriz de tempos }
    auxtaxi    :array [1..600] of integer; { Linha da matriz de tempos }
    cc         :integer; { Taxi que o usuario embarcou }
    ccmx       :integer; { Coluna do arquivo da matriz O/D }
    chega     :array [1..18] of integer; { No. colunas do arquivo da o/d }
    chegada    :array [1..11,1..40] of integer; { No. de chegadas no sist. por hora }
    col        :integer; { Unidade da matriz de chegadas }
    colu       :array [1..5] of integer; { Coluna do arquivo de chegadas }
    coluna,    { Coluna do arquivo de tempos }
    coteaux    :integer; { Coluna do arquivo de tempos }
    curva      :array [1..5,1..18] of integer; { Inicia a curva de chegadas }
    deixafila  :boolean; { Variavel de controle do embarque }
    destacum   :array [1..5,1..20] of integer; { Destino da zona para as demais }
    dista      :array [1..6,1..19] of integer; { Unidade do arquivo de distancia }

```

distancia	:array [1..600] of integer;	{ Distancia de viagem do usuario }
distotal	:integer;	{ Dist. tot. para atender a demanda }
embarque	:array [1..600] of integer;	{ Embarque do usuario no taxi }
esis	:array [1..18] of integer;	{ Espera dos taxis fazer viagem }
espera	:array [1..600] of real;	{ Tempo de espera do usuario }
esperamedia	:real;	{ Tempo medio de espera }
espezomedia	:array [1..5] of real;	{ Tempo medio de espera na zona }
F,		{ Frota da zona }
ff,		{ Fim da fila de usuarios }
fft	:array [1..5] of integer;	{ Fim da fila de taxis }
ffz	:integer;	{ Fim de fila na zona }
fila	:array [1..5,1..600] of integer;	{ Fila de usuarios na zona }
fim	:integer;	{ No. de zonas procuradas }
fizo	:array [1..600] of integer;	{ No. do usuario na fila da zona }
frota	:array [1..5,1..2] of integer;	{ Unidade do arquivo de frotas }
frototal	:integer;	{ Frota total }
ftaxi	:array [1..5,1..600] of integer;	{ Taxi livre da fila }
hh	:integer;	{ No. da hora simulada }
hora	:array [1..18] of integer;	{ Hora simulada }
i,		{ Ordem de chegada dos usuarios }
ifz	:integer;	{ Inicio da fila na zona }
ii,		{ Inicio da fila de usuarios }
ift	:array [1..5] of integer;	{ Inicio da fila de taxis }
inicio	:integer;	{ Incremento da simulacao }
inter	:array [1..5,1..18] of integer;	{ Interchegada na zona por hora }
j,		{ Indice dos taxis na zona }
jj,		{ Controle das zonas procuradas }
k	:integer;	{ Indice de chegadas na zona }
kk	:array [1..5] of integer;	{ Indice de chegada na zona }
lidis,		{ Linha do arq. de distâncias }
lifro,		{ Linha do arquivo de frotas }
lin,		{ Linha do arquivo de chegadas }
linor,		{ Linha do arq. da curva normal }
ll	:integer;	{ Linha do arq. da matriz O/D }
N	:array [1..5] of integer;	{ No. de chegadas na zona }
NH,		{ No. de horas da simulacao }
NHO,		{ No. de horas observadas }
Nmax	:integer;	{ No. max. de chegadas na zona }
NN	:array [1..5,1..18] of integer;	{ No. de cheg. na zona por hora }
nomearqus	:string [15];	{ Nome do arquivo de usuarios }
normal	:array [1..40,1..4] of real;	{ Unid. do arq. da curva normal }
NZ	:integer;	{ No. de zonas }
ord	:array [1..600,1..3] of real;	{ Ordem de chegadas }
ordes	:array [1..7,1..19] of integer;	{ Unid. do arquivo da matriz O/D }
per	:array [1..18] of integer;	{ Periodo da hora observada }
pp	:integer;	{ Hora observada }
reg	:usuario;	{ Registro de usuarios-fichario }
s	:integer;	{ Indice de zona }
servico	:array [1..102,1..5] of taxi;	{ Servico de taxi na zona }


```

soma,                                { No. total de chegadas }
ss,                                  { Indice auxiliar de zona }
temin    :integer;                   { Tempo minimo entre zonas }
tempo    :array [1..7,1..19] of integer; { Unid. arquivo de tempos }
temtotal :integer;                   { Tempo p/ atender demanda }
tm        :array [1..5] of integer;   { Tempo minimo do taxi }
TV,      { Tempo de viagem do usuario }
viagem    :array [1..600] of integer; { Tempo final de viagem }
z          :integer;                 { Indice de zonas }
zona      :array [1..600] of integer; { Zona de embarque do usuario }

{ Funcao que verifica se pode usar a coluna do tempo minimo }
Function pode (auxcote : integer) : boolean;
begin
  pode := true;
  for jj := 1 to fim do
    begin
      if auxcote = colu[jj]
      then pode := false;
    end;
  end;
end;

{ Funcao que verifica se tem taxi livre na fila }
Function taxilivre (var ift,fft : integer) : integer;
begin
  if ( ift > fft )
  then begin
    taxilivre := 0;
    ift := 0;
    fft := 0;
  end
  else begin
    taxilivre := ift;
    ift := ift + 1;
  end;
end;

{ Le os dados de entrada }
Procedure Leiturarqent;
var arqent      : text;      { Arquivo de chegadas }
    colmax,     { Numero de colunas do arquivo de chegadas }
    linmax      : integer;   { Numero de linhas do arquivo de chegadas }
    nomearqent  : string [15]; { Nome do arquivo de chegadas }
begin
  clrscr;
  write ('Digite o nome do arquivo de entrada : ');
  readln (nomearqent);
  assign (arqent,nomearqent);
  reset (arqent);

```



```

write ('Digite o numero de zonas NZ = ');
readln (NZ);
linmax := 2*NZ+1;
write ('Digite o numero de colunas do arqent: colmax = ');
readln (colmax);
for lin := 1 to linmax do
for col := 1 to colmax do
    read (arqent,chegada [lin,col]);
write ('Digite o numero de horas da simulacao : NH = ');
readln (NH);
close (arqent);
end;

```

```

{ Dados iniciais }
Procedure Dadosiniciais;
begin
    for z := 1 to NZ do
        begin
            kk[z] := 1;
            for k := 1 to 300 do
                reg.H[z,k] := 10000;
            end;
        end;
    for hh := 1 to NH do
        begin
            hora [hh] := hh*60;
            chega[hh] := 0;
        end;
    for z := 1 to NZ do
        begin
            for hh:= 1 to NH do
                begin
                    curva [z,hh] := chegada [z,hh];
                    inter [z,hh] := 0;
                    NN [z,hh] := 0;
                end;
            end;
        end;
end;

```

```

{ Le os dados do arquivo da curva normal }

```

```

Procedure Leituranormal;

```

```

var arqnor      : text;          { Arquivo da distribuicao normal }
    conor       : integer;      { Coluna do arquivo da distribuicao normal }
    nomearqnor  : string [15];  { Nome do arquivo da curva normal }
begin
    nomearqnor := 'opnor.dat';
    assign (arqnor,nomearqnor);
    reset (arqnor);
    for linor := 1 to 40 do
        for conor := 1 to 4 do

```

```

    read (arqnor,normal[linor,conor]);
    close (arqnor);
end;

```

{ Le os dados da matriz O/D de probabilidades }

Procedure Leituramatriz;

```

var arqmat      : text;      { Arquivo da matriz O/D }
    llmax,      { No. de linhas do arquivo da matriz O/D }
    NMD        : integer;   { No. de matrizes O/D }
    nomearqmat : string [15]; { Nome do arquivo da matriz O/D }
begin
    clrscr;
    write ('Digite o nome do arquivo da matriz O/D : ');
    readln (nomearqmat);
    assign (arqmat,nomearqmat);
    reset (arqmat);
    write ('Digite o numero de matrizes O/D: NMD = ');
    readln (NMD);
    llmax := NMD*(NZ+1)+1;
    write ('Digite o numero de colunas do arquivo da matriz: ccmatrix = ');
    readln (ccmax);
    for ll := 1 to llmax do
        for cc := 1 to ccmatrix do
            read (arqmat,ordes[ll,cc]);
        close (arqmat);
    end;
end;

```

{ Os parametros da Origemdestino assumem os valores iniciais }

Procedure Dadosdestino;

```

begin
    for pp := 1 to NH do
        begin
            per[pp] := pp*60;
        end;
    end;
end;

```

{ Le os dados da matriz de tempos de viagem entre zonas }

Procedure Leituratempo;

```

var arqtem      : text;      { Arquivo dos tempos de viagem }
    cote        : real;      { Coluna do arquivo dos tempos de viagem }
    cotemax     : integer;   { No. de colunas do arquivo dos tempos de viagem }
    lite        : real;      { Linha do arquivo dos tempos de viagem }
    litemax,    { No. de linhas do arquivo dos tempos de viagem }
    NMT        : integer;   { No. de matrizes dos tempos de viagem }
    nomearqtem : string [15]; { Nome do arquivo dos tempos de viagem }

begin
    clrscr;
    write ('Digite o nome do arquivo de tempos: ');

```

```

readln (nomearqtem);
assign (arqtem,nomearqtem);
reset (arqtem);
write ('Digite o numero de matrizes de tempo: NMT = ');
readln (NMT);
litemax := NMT*(NZ+1)+1;
write ('Digite o numero de colunas do arqtem: cotemax = ');
readln (cotemax);
auxlite := trunc(int(lite));
auxcote := trunc(int(cote));
for auxlite:= 1 to litemax do
  for auxcote := 1 to cotemax do
    read (arqtem,tempo[auxlite,auxcote]);
  close (arqtem);
end;

```

{ Le os dados da matriz de distancias de viagem entre zonas }

Procedure Leituradistancia;

```

var arqdis      : text;      { Arquivo das distancias de viagem }
    codimax,    { No. de colunas do arquivo das distancias de viagem }
    codis,      { Coluna do arquivo das distancias de viagem }
    lidimax     : integer;   { No. de linhas do arquivo das distancias de viagem }
    nomearqdis  : string [15]; { Nome do arquivo das distancias de viagem }

```

begin

```

  clrscr;
  write ('Digite o nome do arquivo de distancias: ');
  readln (nomearqdis);
  assign (arqdis,nomearqdis);
  reset (arqdis);
  lidimax := NZ + 1;
  write ('Digite o numero de colunas do arqdis: codimax = ');
  readln (codimax);
  for lidis := 1 to lidimax do
    begin
      for codis := 1 to codimax do
        begin
          read (arqdis,dista[lidis,codis]);
        end;
      end;
    close (arqdis);
  end;
end;

```

{ Le os dados do arquivo de frota em cada zona }

Procedure Leiturafrota;

```

var arqfro      : text;      { Arquivo das frotas de taxi }
    cofro,      { Coluna do arquivo das frotas de taxi }
    lifromax    : integer;   { No. de linhas do arquivo de frotas }
    nomearqfro  : string [15]; { Nome do arquivo de frotas }

```



```

begin
  clrscr;
  write ('Digite o nome do arquivo de frota: ');
  readln (nomearqfro);
  assign (arqfro,nomearqfro);
  reset (arqfro);
  lifromax := NZ;
  for lifro := 1 to lifromax do
    for cofro := 1 to 2 do
      read (arqfro,frota[lifro,cofro]);
    close (arqfro);
  end;

  { Atribui os dados iniciais da Procedure Oferta }
  Procedure Dadosoferta;
  begin
    temtotal := 0;
    disttotal := 0;
    frototal := 0;
    atend := 0;
    for z := 1 to NZ do
      begin
        ii[z] := 0;
        ff[z] := 0;
        ift[z] := 0;
        fnt[z] := 0;
      end;
    for z := 1 to NZ do
      begin
        F[z] := frota [z,2];
        frototal := frototal + F[z];
        for j := 1 to F[z] do
          begin
            servico[j,z].corrida := 0;
            servico[j,z].tempocupado := 0;
            servico[j,z].ocupado := false;
          end;
        end;
      end;
    end;

  { Compara os numeros gerados com a matriz O/D }
  Procedure Origemdestino;
  var ccc : integer; { Coluna de controle para o destino acumulado }
  begin
    k := 0;
    Randomize;
    while k <= N[z] do
      begin
        for pp := 1 to NH do

```

```

begin
  while reg.H[1,k] < per[pp] do
    begin
      k := k+1;
      reg.PD[1,k] := Random(100);
      delay(5);
      ll := ordes[1,pp]+z;
      cc := 2;
      if reg.PD[1,k] <= ordes[ll,cc]
      then begin
        reg.dest[1,k] := ordes[2,cc];
        if k <= N[z]
        then begin
          for ccc := 1 to (ccmax-1) do
            begin
              if reg.dest[1,k] = ccc
              then destacum[z,ccc] := destacum[z,ccc] + 1;
            end;
          end;
        end
      else repeat
        cc := cc+1;
        if reg.PD[1,k] <= ordes[ll,cc]
        then begin
          reg.dest[1,k] := ordes[2,cc];
          if k <= N[z]
          then begin
            for ccc := 1 to (ccmax-1) do
              begin
                if reg.dest[1,k] = ccc
                then destacum[z,ccc] := destacum[z,ccc] + 1;
              end;
            end;
          end;
        until reg.PD[1,k] <= ordes[ll,cc];
      end;
    end;
  end;
end;

```

```

{ Gera usuarios e calcula o tempo de chegada }
Procedure Calculos;
var arqesp      : text;           { Arquivo das esperas }
    esis        : array [1..18] of integer; { Espera dos taxis para fazer uma viagem }
    hhh         : integer;       { Variavel auxiliar da hora simulada }
    naoacabou   : boolean;       { Variavel de controle das chegadas }
    nomearqesp  : string[15];    { Nome do arquivo de esperas }
begin

```

```

for z := 1 to NZ do
begin
  lin := z+NZ+1;
  K := 0;
  reg.H[1,k] := 0;
  Randomize;
  naoacabou :=true;
  while (reg.H[1,k] <= NH*60) and naoacabou do
  begin
    if (reg.H[1,k] = NH*60) then naoacabou := false;
    for hh := 1 to NH do
    begin
      while reg.H[1,k] < hora[hh] do
      begin
        k := k+1;
        reg.P[1,k] := Random(100);
        delay(5);
        col := curva [z, hh];
        if chegada [lin,col] <> 0
        then begin
          reg.media[1,k] := chegada[lin,col];
          reg.desvio[1,k] := (chegada[lin,col+1])/100;
          reg.A[1,k] := (reg.P[1,k]/100 - 0.5);
          linor := 1;
          if reg.A[1,k] >= 0
          then begin
            if reg.A[1,k] <= normal[linor,2]
            then reg.ZZ[1,k] := normal[linor,1]
            else repeat
              linor := linor+1;
              if reg.A[1,k] <= normal[linor,2]
              then reg.ZZ[1,k] := normal[linor,1]
              until reg.A[1,k] <= normal[linor,2];
            end
          else begin
            if reg.A[1,k] >= normal[linor,4]
            then reg.ZZ[1,k] := normal[linor,3]
            else repeat
              linor := linor+1;
              if reg.A[1,k] >= normal[linor,4]
              then reg.ZZ[1,k] := normal[linor,3]
              until reg.A[1,k] >= normal[linor,4]
            end;
          end
          reg.T[1,k] :=
ABS(round(reg.ZZ[1,k]*reg.desvio[1,k]+reg.media[1,k]));
          reg.H[1,k] := reg.H[1,k-1] + reg.T[1,k];
        end
      else begin
        if reg.P[1,k] <= chegada[lin,col]

```



```

then begin
    reg.Psup[1,k] := chegada[lin,col];
    reg.Pinf[1,k] := 0;
    reg.Tsup[1,k] := chegada[NZ+1,col];
    reg.Tinf[1,k] := 0;
    reg.T[1,k] := 0;
    reg.H[1,k] := reg.H[1,k-1];
end
else repeat
    col := col+1;
    if reg.P[1,k] <= chegada[lin,col]
    then begin
        reg.Psup[1,k] := chegada[lin,col];
        reg.Pinf[1,k] := chegada[lin,col-1];
        reg.Tsup[1,k] := chegada[NZ+1,col];
        reg.Tinf[1,k] := chegada[NZ+1,col-1];
        reg.T[1,k] := round((reg.P[1,k]-reg.Pinf[1,k])*(reg.Tsup[1,k]-
        reg.Tinf[1,k])/(reg.Psup[1,k]-reg.Pinf[1,k]+reg.Tinf[1,k]));
        reg.H[1,k] := reg.H[1,k-1] + reg.T[1,k];
    end;
    until reg.P[1,k] <= chegada[lin,col];
end;
if reg.H[1,k] <= hora[NH]
then begin
    hhh := hh;
    if reg.H[1,k] <= hora[hh]
    then begin
        inter[z,hh] := inter[z,hh] + round(reg.T[1,k]);
        NN[z,hh] := NN[z,hh] + 1;
    end
    else repeat
        hhh := hhh + 1;
        if reg.H[1,k] <= hora[hhh]
        then begin
            inter[z,hhh] := inter[z,hhh] + round(reg.T[1,k]);
            NN[z,hhh] := NN[z,hhh] + 1;
        end;
    until reg.H[1,k] <= hora[hhh]
end;
end;
if NN[z,hh] <> 0
then inter[z,hh] := round(inter[z,hh] / NN[z,hh])
else inter[z,hh] := 10000;
end;
end;
N[z] := k - 1;
for cc := 1 to (ccmax-1) do
begin
    destacum[z,cc] := 0;

```

```

        end;
        Origemdestino;
        write (arqus,reg);
    end;
    for hh := 1 to NH do
        for z := 1 to NZ do
            chega[hh] := chega[hh] + NN[z,hh];
        for hh := 1 to NH do
            begin
                if chega[hh] <> 0
                then esis[hh] := round(frototal / (chega[hh] * 2))
                else esis[hh] := 10000;
            end;
        clrscr;
        write ('Digite o nome do arquivo de esperas: ');
        readln (nomearqesp);
        assign (arqesp,nomearqesp);
        rewrite (arqesp);
        for z := 1 to NZ do
            begin
                for hh := 1 to NH do
                    write (arqesp,inter[z,hh], ' ');
                    writeln (arqesp);
                end;
            for hh := 1 to NH do
                write (arqesp,esis[hh], ' ');
            close (arqesp);
        end;
end;
```

```

Procedure Arquivo1;
begin
    clrscr;
    write ('Digite o nome do arquivo das chegadas dos usuarios: ');
    readln (nomearqus);
    assign (arqus,nomearqus);
    rewrite (arqus);
    Calculos;
    clrscr;
    write (' P R O C E S S A N D O ...');
    close (arqus);
end;
```

```

{ Determina o numero maximo de chegadas }
Procedure Chegmax;
begin
    Nmax := N[1];
    for z := 1 to NZ do
        begin
            if Nmax < N[z]
```

```

        then Nmax := N[z]
    end;
end;

{ Determina a ordem de chegadas }
Procedure Ordemchegada;
var auxdest : array [1..5] of matint; { Destino do usuario }
    auxH     : array [1..5] of matreal; { Hora de chegada do usuario }
    destino  : integer;                { Destino do usuario em fase de ordenacao }
    min      : real;                   { Hora de chegada em fase de ordenacao }
    origem,  : integer;                { Origem do usuario }
    zk       : integer;                { Indice de chegada do usuario }
begin
    assign (arqus,nomearqus);
    reset (arqus);
    for z := 1 to NZ do
        begin
            read (arqus,reg);
            auxH[z] := reg.H;
            auxdest[z] := reg.dest;
        end;
    close (arqus);
    min := auxH[1][1,1];
    origem := 1;
    destino := auxdest[1][1,1];
    i := 0;
    for zk := 1 to NZ*Nmax do
        begin
            for z := 1 to NZ do
                begin
                    if min > auxH[z][1,kk[z]]
                    then begin
                        min := auxH[z][1,kk[z]];
                        origem := z;
                        destino := auxdest[z][1,kk[z]];
                    end;
                end;
            i := i+1;
            ord[i,1] := min;
            ord[i,2] := origem;
            ord[i,3] := destino;
            kk[origem] := kk[origem]+1;
            min := auxH[1][1,kk[1]];
            origem := 1;
            destino := auxdest[1][1,kk[1]];
        end;
    end;
end;

{ Determina o numero total de chegadas }

```


Procedure Chegadatotal;

begin

soma := 0;

for z := 1 to NZ do

begin

soma := soma + N[z];

end;

end;

{ Coloca os taxis em fila }

Procedure Filataxi;

begin

for s := 1 to NZ do

begin

for j := 1 to F[s] do

begin

if ift[s] = 0

then begin

ift[s] := ift[s] + 1;

ftaxi [s,ift[s]] := j;

fft[s] := ift[s];

end

else begin

fft[s] := fft[s] + 1;

ftaxi [s,fft[s]] := j;

end;

end;

end;

end;

{ Identifica o destino com tempo minimo para a zona de origem }

Procedure Tempominimo;

var pegamenor : boolean; { Variavel de controle do tempo minimo de viagem }

begin

auxlite := tempo[1,hh] + round(ord[i,2]);

temin := tempo[auxlite,2];

coluna := 2;

fim := 0;

for auxcote := 2 to (NZ+1) do

begin

if temin > tempo[auxlite,auxcote]

then begin

temin := tempo[auxlite,auxcote];

coluna := auxcote;

end;

end;

pegamenor := false;

fim := fim + 1;

tm[fim] := temin;

```

    colu[fim] := coluna;
    lifro := tempo [2,colu[fim]];
    s := lifro;
    F[s] := frota [s,2];
    if F[s] > 0
    then pegamenor := true
    else begin
        while not(pegamenor) do
        begin
            auxcote := 2;
            temin := 9999;
            while (auxcote <= NZ+1) do
            begin
                if pode(auxcote)
                then begin
                    if temin > tempo[auxlite,auxcote]
                    then begin
                        temin := tempo[auxlite,auxcote];
                        coluna := auxcote;
                    end;
                end;
                auxcote := auxcote + 1;
            end;
            fim := fim + 1;
            tm[fim] := temin;
            colu[fim] := coluna;
            lifro := tempo [2,colu[fim]];
            s := lifro;
            F[s] := frota[s,2];
            if F[s] > 0
            then pegamenor := true;
        end;
    end;
end;

{ Procura ponto que tem frota }
Procedure Procuraponto;
var auxord : integer; { Variavel inteira de ord[i,2] }
begin
    lifro := 1;
    if frota[lifro,1] = ord[i,2]
    then begin
        auxord := round(ord[i,2]);
        F[auxord] := frota[lifro,2];
        if F[auxord] > 0
        then s := auxord
        else Tempominimo;
    end
    else begin

```

```

repeat
  if frota[lifro,1] <> ord[i,2]
  then lifro := lifro + 1;
until frota[lifro,1] = ord[i,2];
auxord := round(ord[i,2]);
F[auxord] := frota[lifro,2];
if F[auxord] > 0
then s := auxord
else Tempominimo;
end;
end;

{ O usuario entra na fila }
Procedure Entranafila;
begin
  i := 1;
  while i <= soma do
  begin
    for hh := 1 to NH do
    begin
      while ( ord[i,1] <= hora[hh] ) do
      begin
        Procuraponto;
        if ii[s] = 0
        then begin
          ii[s] := 1;
          ff[s] := 1;
          fila [s,ff[s]] := i;
        end
        else begin
          ff[s] := ff[s] + 1;
          fila [s,ff[s]] := i;
        end;
        i := i + 1;
      end;
    end;
  end;
end;

{ O usuario entra na fila, embarca se houver taxi vazio, e calcula a espera }
Procedure Entranotaxi;
var talivre : array [1..30] of integer; { Taxi livre na zona }
begin
  talivre[s] := taxilivre (ift[s],ff[s]);
  if talivre[s] <> 0
  then begin
    auxlite := tempo[1,hh] + round(ord[fizo[ifz],2]);
    auxcote := round(ord[fizo[ifz],3]) + 1;
    lidis := round (ord[fizo[ifz],2]) + 1;
  end;
end;

```



```

if s = ord[fizo[ifz],2]
then begin
    TV[fizo[ifz]] := tempo[auxlite,auxcote];
    temtotal := temtotal + Tv[fizo[ifz]];
    distancia[fizo[ifz]] := dista[lidis,auxcote];
    distotal := distotal + distancia[fizo[ifz]];
end
else begin
    if s = ord[fizo[ifz],3]
    then begin
        TV[fizo[ifz]] := tempo[auxlite,auxcote];
        temtotal := temtotal + TV[fizo[ifz]];
        distancia[fizo[ifz]] := dista[lidis,auxcote];
        distotal := distotal + distancia [fizo[ifz]];
    end
    else begin
        TV[fizo[ifz]] := tempo[auxlite,auxcote] + tempo[auxlite,s+1];
        temtotal := temtotal + Tv[fizo[ifz]];
        distancia[fizo[ifz]] := dista[lidis,auxcote] + dista[lidis,s+1];
        distotal := distotal + distancia [fizo[ifz]];
    end;
end;
servico[ftaxi[s,talivre[s]],s].corrida := servico[ftaxi[s,talivre[s]],s].corrida + 1;
servico[ftaxi[s,talivre[s]],s].tempocupado := inicio + TV[fizo[ifz]];
servico[ftaxi[s,talivre[s]],s].ocupado := true;
embarque [fizo[ifz]] := inicio;
espera [fizo[ifz]] := inicio - ord [fizo[ifz],1];
auxtaxi[fizo[ifz]] := ftaxi[s,talivre[s]];
zona[fizo[ifz]] := s;
viagem[fizo[ifz]] := servico[ftaxi[s,talivre[s]],s].tempocupado;
ifz := ifz + 1;
end;
end;

{ Atende os usuarios que solicitam taxi }
Procedure Atendimento;
begin
    for j := 1 to F[s] do
        begin
            if (servico[j,s].tempocupado=inicio) and (servico[j,s].ocupado=true)
            then begin
                servico[j,s].tempocupado := 0;
                servico[j,s].ocupado := false;
                atend := atend + 1;
                atezona := atezona + 1;
                ftt[s] := ftt[s] + 1;
                ftaxi[s,ftt[s]] := j;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

    inicio := inicio + 1;
end;

{ Aloca taxi aos usuarios que chegam ao ponto }
Procedure Oferta;
var ultimo : boolean; { Ultimo usuario a ser atendido }
begin
    while atend < soma do
        begin
            for s := 1 to NZ do
                begin
                    if F[s] > 0
                    then begin
                        inicio := 0;
                        ultimo := false;
                        atezona := 0;
                        ifz := 1;
                        ffz := 0;
                        while ( atezona < ff[s] ) do
                            begin
                                if ord[filas[ii[s]],1] <= hora[NH]
                                then begin
                                    for hh := 1 to NH do
                                        begin
                                            while (ord[filas[ii[s]],1] <= hora[hh]) and (ultimo=false) do
                                                begin
                                                    while ( inicio = ord[filas[ii[s]],1] ) do
                                                        begin
                                                            if ii[s] <= ff[s]
                                                            then begin
                                                                if ifz = 1
                                                                then begin
                                                                    ifz := 1;
                                                                    ffz := 1;
                                                                    fizo[ffz] := filas[ii[s]];
                                                                end
                                                                else begin
                                                                    ffz := ffz + 1;
                                                                    fizo[ffz] := filas[ii[s]];
                                                                end;
                                                            for j := 1 to F[s] do
                                                                begin
                                                                    while (ifz <= ffz) and (servico[j,s].ocupado <>
true)do
                                                                    Entranotaxi;
                                                                end;
                                                            end;
                                                            ii[s] := ii[s] + 1;
                                                        end;
                                                    end;
                                                end
                                            end
                                        end
                                    end
                                end
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end;

```

```

        for j := 1 to F[s] do
            begin
                while (ifz <= ffz) and (servico[j,s].ocupado <> true) do
                    Entranotaxi;
                end;
                Atendimento;
                if ( ifz > ff[s] ) then ultimo := true;
            end;
        end;
    else begin
        for j := 1 to F[s] do
            begin
                while ( ifz <= ffz) and (servico[j,s].ocupado <> true) do
                    Entranotaxi;
                end;
                Atendimento;
            end;
        end;
    end;
end;
end;
end;
end;

```

```

{ Calcula a espera media dos usuarios de taxi }
Procedure Esperadosusuarios;
var esperatotal : real;           { Espera de todos os usuarios }
    esperazona : array [1..30] of real; { tempo medio de espera na zona }
begin
    esperatotal := 0;
    esperamedia := 0;
    for i := 1 to soma do
        begin
            esperatotal := esperatotal + espera[i];
        end;
    if esperatotal <> 0 then esperamedia := esperatotal / soma;
    for z := 1 to NZ do
        begin
            esperazona[z] := 0;
            espezomedia[z] := 0;
        end;
    for i := 1 to soma do
        begin
            for z := 1 to NZ do
                begin
                    if ord[i,2] = z
                    then esperazona[z] := esperazona[z] + espera[i];
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```



```

    end;
  for z := 1 to NZ do
    begin
      if esperazona[z] <> 0
      then espezomedia[z] := esperazona[z] / N[z];
    end;
  end;

  { Arquivo de saida }
  Procedure Leiturarqsai;
  var arqsai      : text;      { Arquivo de saida }
      nomearqsai : string [15]; { Nome do arquivo de saida }
  begin
    clrscr;
    write ('De o nome do arquivo de saida : ');
    readln (nomearqsai);
    assign (arqsai,nomearqsai);
    rewrite (arqsai);
    assign (arqus,nomearqsai);
    reset (arqus);
    for z := 1 to NZ do
      begin
        read (arqus,reg);
        writeln (arqsai,' P ',' T ',' H ',' PD ',' DEST ');
        for k := 1 to N[z] do
          begin
            writeln(arqsai,reg.P[1,k]:3,' ':2,reg.T[1,k]:3:0,' ':2,reg.H[1,k]:4:0,' ':2,reg.PD[1,k]:3,'
            ':2,reg.dest[1,k]:4);
          end;
        for cc := 1 to (ccmax-1) do
          begin
            writeln (arqsai,'DESTACUM [' ,z,',',cc,'] = ',destacum[z,cc]);
          end;
        writeln (arqsai,'Numero de chegadas N [' ,z,'] = ',N[z]);
      end;
    close (arqus);
    writeln (arqsai,'Numero maximo de chegadas Nmax = ',Nmax);
    writeln (arqsai,'Numero total de chegadas : soma = ',soma);
    writeln (arqsai,' I ','CHEGADA ','ORIGEM ','DESTINO ','TV ','EMBARQUE ','
    ESPERA ',' DIST');
    for i := 1 to soma do
      begin
        writeln
        (arqsai,i:3,ord[i,1]:7:0,ord[i,2]:6:0,ord[i,3]:8:0,TV[i]:5,embarque[i]:7,espera[i]:7:0,di
        stancia[i]:5);
      end;
    writeln (arqsai,' TEMPO TOTAL = ',temtotal);
    writeln (arqsai,' DISTANCIA TOTAL = ',disttotal);
    writeln (arqsai,' ESPERA MEDIA NO SISTEMA = ',esperamedia:2:1);
  end;

```

```

writeln (arqsai,' ZONA ',' ESPERA MEDIA ');
for z := 1 to NZ do
  begin
    writeln (arqsai,z:4,' ':5,espezomedia[z]:6:1);
  end;
writeln (arqsai,' I ','EMBARQUE',' ZONA',' TAXI',' TV ','DESEMBARQUE');
for i := 1 to soma do
  begin
    writeln(arqsai,i:3,' ':1,embarque[i]:6,' ':4,zona[i]:2,' ':2,auxtaxi[i]:3,' ':2,TV[i]:2,'
':4,viagem[i]:4);
  end;
  for z := 1 to NZ do
    begin
      writeln (arqsai,' No. DE CORRIDAS POR TAXI DA ZONA ',z);
      writeln (arqsai,' TAXI',' CORRIDAS');
      for j := 1 to F[z] do
        begin
          writeln (arqsai,j:4,servico[j,z].corrida:7);
        end;
      end;
    close (arqsai);
  end;

```

```

{ Principal }
begin
  Leiturarqent;
  Dadosiniciais;
  Leituranormal;
  Leituramatriz;
  Dadosdestino;
  Leituratempo;
  Leituradistancia;
  Leiturafrota;
  Dadosoferta;
  Arquivo1;
  Chegmax;
  Ordemchegada;
  Chegadatotal;
  Filataxi;
  Entranafila;
  Oferta;
  Esperadosusuarios;
  Leiturarqsai;
end.

```

APÊNDICE IV

PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA OFERTA COM PONTOS LIVRES

```

program LIVRE;
uses crt,printer;
{ Geracao de chegadas de usuarios em zonas de taxi }

type matint = array [1..1,1..300] of integer; { Matriz do tipo inteira }
    matreal = array [1..1,1..300] of real;   { Matriz do tipo real }
    usuario = record
        A      : matreal; { Area da curva normal }
        dest   : matint;  { Destino do usuario }
        desvio, { Desvio de interchegada }
        H      : matreal; { Hora de chegada do usuario }
        media, { Interchegada media }
        P,      { No randomico gerado para chegadas }
        PD,     { No randomico gerado para destinos }
        Pinf,   { Probabilidade inferior de chegadas }
        Psup   : matint;  { Probabilidade superior de chegadas }
        T      : matreal; { Tempo de interchegada }
        Tinf,   { Tempo inferior de interchegada }
        Tsup   : matint;  { Tempo superior de interchegada }
        ZZ     : matreal; { Variavel padronizada da curva normal }
    end;
    taxi = record
        { Registro de cada taxi }
        corrida      : integer; { No. de corridas por taxi }
        destino      : real;     { Ponto de destino do taxi }
        ocupado      : boolean;  { Condicao de servico do taxi }
        pontofinal   : integer;  { Ponto final do taxi }
        procura      : boolean;  { Condicao de procurar um outro ponto de destino }
        tempocupado  : real;     { Tempo de viagem do taxi }
        usu          : integer;  { No. do usuario do taxi }
    end;

var arquos      :file of usuario;
atend,          { Arquivo de usuarios-fichario }
auxcote         { Numero de taxis liberados }
:longint;
auxlite         { Coluna da matriz de tempos }
:longint;
auxtaxi         { Linha da matriz de tempos }
:array [1..600] of integer;
cc              { Taxi que o usuario embarcou }
:integer;
chegada         { Coluna do arquivo da matriz O/D }
:array [1..61,1..20] of integer;
col             { Unidade da matriz de chegadas }
:integer;
colu            { Coluna do arquivo de chegadas }
:array [1..30] of integer;
coluna,        { Coluna do arquivo de chegadas }
coteaux         { Coluna do arq. de tempos }
:integer;
curva           { Coluna do arquivo de tempos }
:array [1..30,1..18] of integer;
deixafila       { Unid. que inicia a curva de cheg. }
:boolean;
destax          { Variavel de controle do embarque }
:integer;
    
```


dista	:array [1..6,1..19] of integer;	{ Unidade do arquivo de distancia }
distancia	:array [1..600] of integer;	{ Distancia de viagem do usuario }
distotal	:integer;	{ Dist. total para atender a demanda }
embarque	:array [1..600] of integer;	{ Embarque do usuario no taxi }
espe	:array [1..6,1..18] of integer;	{ Unidade do arquivo de esperas }
espera	:array [1..600] of real;	{ Tempo de espera do usuario }
esperamedia	:real;	{ Tempo medio de espera }
espezomedia	:array [1..30] of real;	{ Tempo medio de espera na zona }
F,		{ Frota da zona }
ff,		{ Fim da fila de usuarios }
fft	:array [1..30] of integer;	{ Fim da fila de taxis }
fila	:array [1..5,1..600] of integer;	{ Fila de usuarios na zona }
fim	:integer;	{ No de zonas procuradas }
frota	:array [1..5,1..2] of integer;	{ Unid. do arquivo de frotas }
ftaxi	:array [1..5,1..600] of integer;	{ Taxi livre da fila }
hh	:integer;	{ No da hora simulada }
hora	:array [1..18] of integer;	{ Hora simulada }
i	:integer;	{ Ordem de chegada dos usuarios }
ii,		{ Inicio da fila de usuarios }
ift	:array [1..5] of integer;	{ Inicio da fila de taxis }
inicio,		{ Incremento do tempo de simulacao }
j,		{ Indice dos taxis na zona }
jj,		{ Controle das zonas procuradas }
k	:integer;	{ Indice de chegadas na zona }
kk	:array [1..5] of integer;	{ Indice de cheg. ordenada na zona }
lidis,		{ Linha do arq. das dist. de viagem }
lifro,		{ Linha do arquivo de frotas }
lin,		{ Linha do arquivo de chegadas }
linor,		{ Linha do arquivo da curva normal }
liteaux,		{ Linha do dest. no arq. de tempos }
ll	:integer;	{ Linha do arquivo da matriz O/D }
N	:array [1..5] of integer;	{ No de chegadas na zona }
NH,		{ No de horas da simulacao }
Nmax	:integer;	{ No maximo de chegadas na zona }
nomearqus	:string [15];	{ Nome do arquivo de usuarios }
NT	:array [1..5] of integer;	{ No. de taxis na zona }
NZ	:integer;	{ No de zonas }
ord	:array [1..600,1..3] of real;	{ Ordem de chegadas }
ordes	:array [1..10,1..18] of integer;	{ Unid. do arquivo da matriz O/D }
pegamenor	:boolean;	{ Var. de controle do tempo minimo }
per	:array [1..18] of integer;	{ Periodo da hora observada }
ponto,		{ Ponto de menor dist. ao destino }
pp,		{ Hora observada }
pto	:integer;	{ Zona de destino do taxi }
reg	:usuario;	{ Registro de usuarios-fichario }
s	:integer;	{ Indice de zona }
servico	:array [1..190] of taxi;	{ Servico de taxi na zona }
soma,		{ No total de chegadas }
ss	:integer;	{ Indice auxiliar de zona }

talivre	:array [1..30] of integer;	{ Taxi livre na zona }
temin	:integer;	{ Tempo minimo entre zonas }
tempo	:array [1..32,1..31] of integer;	{ Unid. do arq. tempos de viagem }
temtotal	:integer;	{ Tempo tot. p/ atender a demanda }
Tesp	:array [1..5] of integer;	{ Tempo de espera do taxi na zona }
tm	:array [1..30] of integer;	{ Tempo minimo do taxi }
TV	:array [1..600] of real;	{ Tempo de viagem do usuario }
tx	:integer;	{ No. total de taxis }
viagem	:array [1..600] of real;	{ Tempo final de viagem }
z	:integer;	{ Indice de zonas }
zon	:array [1..190] of integer;	{ Zona de origem do taxi }
zona	:array [1..600] of integer;	{ Zona de embarque do usuario }

{ Funcao que verifica se pode usar a coluna do tempo minimo }

Function pode (auxcote : integer) : boolean;

```
begin
  pode := true;
  for jj := 1 to fim do
    begin
      if auxcote = colu[jj]
      then pode := false;
    end;
  end;
end;
```

{ Funcao que verifica se tem taxi livre na fila }

Function taxilivre (var ift,fft : integer) : integer;

```
begin
  if ( ift > fft )
  then begin
    taxilivre := 0;
    ift := 0;
    fft := 0;
  end
  else begin
    taxilivre := ift;
    ift := ift + 1;
  end;
end;
```

{ Le os dados da matriz de tempos de viagem entre zonas }

Procedure Leituratempo;

```
var arqtem      : text;      { Arquivo dos tempos de viagem }
  cote          : real;      { Coluna do arquivo dos tempos de viagem }
  cotemax       : integer;   { No de colunas do arquivo dos tempos de viagem }
  lite          : real;      { Linha do arquivo dos tempos de viagem }
  litemax,      : integer;   { No de linhas do arquivo dos tempos de viagem }
  NMT           : integer;   { No de matrizes dos tempos de viagem }
  nomearqtem    : string [15]; { Nome do arquivo dos tempos de viagem }
begin
```



```

clrscr;
write ('Digite o nome do arquivo de tempos: ');
readln (nomearqtem);
assign (arqtem,nomearqtem);
reset (arqtem);
write ('Digite o numero de horas da simulacao: NH = ');
readln (NH);
write ('Digite o numero de matrizes de tempo: NMT = ');
readln (NMT);
write ('Digite o numero de zonas: NZ = ');
readln (NZ);
litemax := NMT*(NZ+1)+1;
write ('Digite o numero de colunas do arqtem: cotemax = ');
readln (cotemax);
auxlite := round(lite);
auxcote := round(cote);
for auxlite:= 1 to litemax do
  for auxcote := 1 to cotemax do
    read (arqtem,tempo[auxlite,auxcote]);
  close (arqtem);
end;

```

```

{ Le os dados da matriz de distancias de viagem entre zonas }
Procedure Leituradistancia;
var arqdis      : text;      { Arquivo das distancias de viagem }
    codimax,    { No. de colunas do arquivo das distancias de viagem }
    codis,      { Coluna do arquivo das distancias de viagem }
    lidimax     : integer;   { No. de linhas do arquivo das distancias de viagem }
    nomearqdis  : string[15]; { Nome do arquivo das distancias de viagem }
begin
  clrscr;
  write ('Digite o nome do arquivo de distancias: ');
  readln (nomearqdis);
  assign (arqdis,nomearqdis);
  reset (arqdis);
  lidimax := NZ + 1;
  write ('Digite o numero de colunas do arqdis: codimax = ');
  readln (codimax);
  for lidis := 1 to lidimax do
    begin
      for codis := 1 to codimax do
        begin
          read (arqdis,dista[lidis,codis]);
        end;
      end;
    close (arqdis);
  end;
end;

```

```

{ Dados iniciais }

```


Procedure Dadosiniciais;

begin

for z := 1 to NZ do

begin

kk[z] := 1;

for k := 1 to 300 do

reg.H[z,k] := 10000;

end;

for hh := 1 to NH do

begin

hora [hh] := hh*60;

end;

end;

{ Le os dados do arquivo de frota em cada zona }

Procedure Leiturfrota;

var arqfro : text; { Arquivo das frotas de taxi }

cofro, { Coluna do arquivo das frotas de taxi }

lifromax : integer; { Numero de linhas do arquivo de frotas }

nomearqfro : string [15]; { Nome do arquivo de frotas }

begin

clrscr;

write ('Digite o nome do arquivo de frotas: ');

readln (nomearqfro);

assign (arqfro,nomearqfro);

reset (arqfro);

lifromax := NZ;

for lifro := 1 to lifromax do

for cofro := 1 to 2 do

read (arqfro,frota[lifro,cofro]);

close (arqfro);

end;

{ Atribui os dados iniciais da Procedure Oferta }

Procedure Dadosoferta;

begin

inicio := 0;

atend := 0;

for z := 1 to NZ do

begin

ii[z] := 1;

ff[z] := 0;

ift[z] := 0;

fft[z] := 0;

end;

for z := 1 to 30 do

F[z] := 0;

for z := 1 to NZ do

begin

```

        F[z] := frota [z,2];
    end;
end;

```

```

{ Le as esperas no sistema e as interchegadas nas zonas }
Procedure Arquivoespera;
var arqesp      : text;      { Arquivo de esperas }
    escol       : integer;   { Coluna do arquivo de esperas }
    eslin       : integer;   { Linha do arquivo de esperas }
    nomearqesp  : string [15]; { Nome do arquivo de esperas }
begin
    clrscr;
    write ('Digite o nome do arquivo de esperas: ');
    readln (nomearqesp);
    assign (arqesp,nomearqesp);
    reset (arqesp);
    for eslin := 1 to NZ+1 do
        for escol := 1 to NH do
            read (arqesp,espe[eslin,escol]);
        close (arqesp);
    end;
end;

```

```

{ Determina o numero maximo de chegadas }
Procedure Chegmax;
begin
    clrscr;
    for z :=1 to NZ do
        begin
            write ('N[' ,z, ' ] = ');
            readln (N[z])
        end;
    Nmax := N[1];
    for z := 1 to NZ do
        begin
            if Nmax < N[z]
            then Nmax := N[z]
        end;
    end;
end;

```

```

{ Determina a ordem de chegadas }
Procedure Ordemchegada;
var auxdest : array [1..5] of matint; { Destino do usuario }
    auxH     : array [1..5] of matreal; { Hora de chegada do usuario }
    destino  : integer;                 { Destino do usuario em fase de ordenacao }
    min      : real;                    { Hora de chegada em fase de ordenacao }
    origem,  : integer;                 { Origem do usuario }
    zk       : integer;                 { Indice de chegada do usuario }
begin
    clrscr;

```

```

write ('Digite o nome do arquivo das chegadas dos usuarios: ');
readln (nomearqus);
clrscr;
write (' P R O C E S S A N D O ... ');
assign (arqus,nomearqus);
reset (arqus);
for z := 1 to NZ do
begin
    read (arqus,reg);
    auxH[z] := reg.H;
    auxdest[z] := reg.dest;
end;
close (arqus);
min := auxH[1][1,1];
origem := 1;
destino := auxdest[1][1,1];
i := 0;
for zk := 1 to NZ*Nmax do
begin
    for z := 1 to NZ do
    begin
        if min > auxH[z][1,kk[z]]
        then begin
            min := auxH[z][1,kk[z]];
            origem := z;
            destino := auxdest[z][1,kk[z]];
        end;
    end;
    i := i+1;
    ord[i,1] := min;
    ord[i,2] := origem;
    ord[i,3] := destino;
    kk[origem] := kk[origem]+1;
    min := auxH[1][1,kk[1]];
    origem := 1;
    destino := auxdest[1][1,kk[1]];
end;
end;

{ Determina o numero total de chegadas }
Procedure Chegadatotal;
begin
    soma := 0;
    for z := 1 to NZ do
    begin
        soma := soma + N[z];
    end;
end;
end;

```


{ Coloca os taxis em fila }

Procedure Filataxi;

begin

tx := 0;

for s := 1 to NZ do

begin

for j := 1 to F[s] do

begin

if ift[s] = 0

then begin

ift[s] := 1;

fft[s] := 1;

tx := tx + 1;

ftaxi [s,fft[s]] := tx;

zon[tx] := s;

end

else begin

fft[s] := fft[s] + 1;

tx := tx + 1;

ftaxi [s,fft[s]] := tx;

zon[tx] := s;

end;

end;

end;

for j := 1 to tx do

begin

servico[j].corrida := 0;

servico[j].tempocupado := 0;

servico[j].ocupado := false;

servico[j].procura := false

end;

end;

{ O usuario entra na fila }

Procedure Entranafila;

begin

if ii[s] = 1

then begin

ii[s] := 1;

ff[s] := 1;

fila [s,ff[s]] := i;

end

else begin

ff[s] := ff[s] + 1;

fila [s,ff[s]] := i;

end;

end;

{ Procura a zona com frota mais proxima do destino do taxi }

```

Procedure Procuradestino;
var cotedes : integer; { Coluna do arquivo de tempos do destino }
    lides    : integer; { Variavel auxiliar de litedes }
    linha    : integer; { Variavel de controle das linhas procuradas }
    litedes  : integer; { Linha do arquivo de tempos do destino }
begin
    cotedes := round(ord[filas[i][s]],3) + 1;
    litedes := tempo[1,hh] + 1;
    linha := litedes;
    temin := tempo[litedes,cotedes];
    fim := 0;
    for lides := litedes to (NZ+litedes-1) do
        begin
            if temin > tempo[lides,cotedes]
            then begin
                temin := tempo[lides,cotedes];
                linha := lides;
            end;
        end;
    fim := fim + 1;
    tm[fim] := temin;
    colu[fim] := linha;
    lifro := tempo [2,colu[fim]-1];
    ss := lifro;
    F[ss] := frota [ss,2];
    if F[ss] > 0
    then servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino := ss
    else begin
        pegamenor := false;
        while not(pegamenor) do
            begin
                auxcote := tempo[1,hh] + 1;
                temin := 9999;
                while (auxcote <= NZ+litedes-1) do
                    begin
                        if pode(auxcote)
                        then begin
                            if temin > tempo[auxcote,cotedes]
                            then begin
                                temin := tempo[auxcote,cotedes];
                                linha := auxcote;
                            end;
                        end;
                        auxcote := auxcote + 1;
                    end;
                fim := fim + 1;
                tm[fim] := temin;
                colu[fim] := linha;
                lifro := tempo [2,colu[fim]];
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

    ss := lifro;
    F[ss] := frota[ss,2];
    if F[ss] > 0
    then begin
        pegamenor := true;
        servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino := ss;
    end;
end;
end;
end;

{ O usuario entra na fila, embarca se houver taxi vazio, e calcula a espera }
Procedure Entranotaxi;
var coteaux,          { Coluna de destino na matriz de tempos }
    lidiaux : integer; { Linha auxiliar da matriz de distancias }
begin
    talivre[s] := taxilivre (ift[s],fft[s]);
    if talivre[s] <> 0
    then begin
        destax := round(ord[fila[s,ii[s]],3]);
        if F[destax] > 0
        then servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino := ord[fila[s,ii[s]],3]
        else Procuradestino;
        auxlite := tempo[1,hh] + round(ord[fila[s,ii[s]],2]);
        auxcote := round(ord[fila[s,ii[s]],3) + 1;
        lidis := round(ord[fila[s,ii[s]],2) + 1;
        if s = ord[fila[s,ii[s]],2]
        then begin
            if ord[fila[s,ii[s]],3] = servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino
            then begin
                TV[fila[s,ii[s]]] := trunc(tempo[auxlite,auxcote] / 2);
                distancia[fila[s,ii[s]]] := trunc(dista[lidis,auxcote] / 2);
            end
            else begin
                coteaux := round(ord[fila[s,ii[s]],3) + 1;
                destax := round(servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino);
                liteaux := tempo[1,hh] + destax;
                lidiaux := destax + 1;
                TV[fila[s,ii[s]]] := trunc((tempo[auxlite,auxcote] +
tempo[liteaux,coteaux]) / 2);
                distancia[fila[s,ii[s]]] := trunc((dista[lidis,auxcote] +
dista[lidiaux,coteaux]) / 2);
            end;
        end
        else begin
            if ord[fila[s,ii[s]],3] = servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino
            then begin
                destax := round(servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino);

```



```

        TV[filas[iis]] := trunc((tempo[auxlite,s+1] +
tempo[auxlite,destax+1]) / 2);
        distancia[filas[iis]] := trunc((dista[lidis,s+1] +
dista[lidis,destax+1]) / 2);
    end
    else begin
        coteaux := round(ord[filas[iis],3]) + 1;
        destax := round(servico[ftaxi[s,talivre[s]].destino);
        liteaux := tempo[1,hh] + destax;
        TV[filas[iis]] := trunc((tempo[auxlite,auxcote] + tempo[auxlite,s+1] +
tempo[liteaux,coteaux]) / 2);
        distancia[filas[iis]] := trunc((dista[lidis,auxcote] + dista[lidis,s+1] +
dista[destax+1,coteaux]) / 2);
    end;
    end;
    servico[ftaxi[s,talivre[s]].corrida := servico[ftaxi[s,talivre[s]].corrida + 1;
    servico[ftaxi[s,talivre[s]].usu := filas[iis];
    servico[ftaxi[s,talivre[s]].tempocupado := inicio + TV[filas[iis]];
    servico[ftaxi[s,talivre[s]].ocupado := true;
    embarque [filas[iis]] := inicio;
    espera [filas[iis]] := inicio - ord [filas[iis],1];
    aux taxi[filas[iis]] := ftaxi[s,talivre[s]];
    zona[filas[iis]] := s;
    viagem[filas[iis]] := servico[ftaxi[s,talivre[s]].tempocupado;
    iis := iis + 1;
end;
end;

```

{ Identifica o destino com tempo minimo para a zona de origem }

Procedure Tempominimo;

```

begin
    auxlite := tempo[1,hh] + round(ord[i,2]);
    temin := tempo[auxlite,2];
    coluna := 2;
    fim := 0;
    for auxcote := 2 to (NZ+1) do
        begin
            if temin > tempo[auxlite,auxcote]
            then begin
                temin := tempo[auxlite,auxcote];
                coluna := auxcote;
            end;
        end;
    end;
    pegamenor := false;
    fim := fim + 1;
    tm[fim] := temin;
    colu[fim] := coluna;
    lifro := tempo [2,colu[fim]];
    s := lifro;

```

```

F[s] := frota [s,2];
if F[s] > 0
then pegamenor := true
else begin
  while not(pegamenor) do
  begin
    auxcote := 2;
    temin := 9999;
    while (auxcote <= NZ+1) do
    begin
      if pode(auxcote)
      then begin
        if temin > tempo[auxlite,auxcote]
        then begin
          temin := tempo[auxlite,auxcote];
          coluna := auxcote;
        end;
      end;
      auxcote := auxcote + 1;
    end;
    fim := fim + 1;
    tm[fim] := temin;
    colu[fim] := coluna;
    lifro := tempo [2,colu[fim]];
    s := lifro;
    F[s] := frota[s,2];
    if F[s] > 0
    then pegamenor := true;
  end;
end;
end;

```

```

{ Procura a zona com menor tempo de espera por taxi }
Procedure Procuramenor;
var menor : real;
begin
  for z := 1 to NZ do
  begin
    NT[z] := (fft[z] - ift[z]) + 1;
    Tesp[z] := round((NT[z] * espe[z,hh]) / 60);
  end;
  menor := Tesp[1];
  ponto := 1;
  for z := 1 to NZ do
  begin
    if menor > Tesp[z]
    then begin
      menor := Tesp[z];
      ponto := z;
    end;
  end;
end;

```

```

        end;
    end;
end;

{ Atende os usuarios que solicitam taxi }
Procedure Atendimento;
var TEV : array [1..600] of integer; { Incremento od tempo de viagem do usuario }
    us   : integer;                  { No. do usuario do taxi a ser liberado }
begin
    for j := 1 to tx do
        begin
            if (servico[j].tempocupado=inicio) and (servico[j].ocupado=true)
            then begin
                if servico[j].procura = true
                then begin
                    pto := servico[j].pontofinal;
                    fnt[pto] := fnt[pto] + 1;
                    ftaxi[pto,fnt[pto]] := j;
                    servico[j].tempocupado := 0;
                    servico[j].ocupado := false;
                    servico[j].procura := false;
                    atend := atend + 1;
                end
            else begin
                pto := round(servico[j].destino);
                NT[pto] := fnt[pto] - ifnt[pto] + 1;
                Tesp[pto] := round((NT[pto] * round(espe[pto,hh])) / 60);
                if Tesp[pto] > (espe[NZ+1,hh] + 5)
                then begin
                    Procuramenor;
                    if pto = ponto
                    then begin
                        fnt[pto] := fnt[pto] + 1;
                        ftaxi[pto,fnt[pto]] := j;
                        servico[j].tempocupado := 0;
                        servico[j].ocupado := false;
                        servico[j].procura := false;
                        atend := atend + 1;
                    end
                else begin
                    auxlite := tempo[1,hh] + pto;
                    us := servico[j].usu;
                    TEV[us] := trunc(tempo[auxlite,ponto+1] / 2);
                    TV[us] := TV[us] + TEV[us];
                    distancia[us] := distancia[us] + trunc(dista[pto+1,ponto+1]
/ 2);

                    servico[j].tempocupado := servico[j].tempocupado +
TEV[us];

                    viagem[us] := servico[j].tempocupado;

```



```

        servico[j].pontofinal := ponto;
        servico[j].procura := true;
    end;
end
else begin
    fnt[pto] := fnt[pto] + 1;
    ftaxi[pto,fnt[pto]] := j;
    servico[j].tempocupado := 0;
    servico[j].ocupado := false;
    servico[j].procura := false;
    atend := atend + 1;
end;
end;
end;
inicio := inicio + 1;
end;

```

```

{ Procura ponto que tem frota }
Procedure Procuraponto;
var auxord : integer; { Variavel inteira de ord[i,2] }
begin
    lifro := 1;
    if frota[lifro,1] = ord[i,2]
    then begin
        auxord := round(ord[i,2]);
        F[auxord] := frota[lifro,2];
        if F[auxord] > 0
        then s := auxord
        else Tempominimo;
    end
    else begin
        repeat
            if frota[lifro,1] <> ord[i,2]
            then lifro := lifro + 1;
        until frota[lifro,1] = ord[i,2];
        auxord := round(ord[i,2]);
        F[auxord] := frota[lifro,2];
        if F[auxord] > 0
        then s := auxord
        else Tempominimo;
    end;
end;

```

```

{ Aloca taxi aos usuarios que chegam ao ponto }
Procedure Oferta;
var ultimo : boolean; { Ultimo usuario a ser atendido }
begin
    i := 1;

```

```

while atend < soma do
begin
  if ord[i,1] <= hora[NH]
  then begin
    for hh := 1 to NH do
      begin
        ultimo := false;
        while (ord[i,1] <= hora[hh]) and (ultimo=false) do
          begin
            if inicio = ord[i,1]
            then begin
              if i <= soma
              then begin
                Procuraponto;
                Entranafila;
                for s := 1 to NZ do
                  begin
                    while (ii[s] <= ff[s]) and (ift[s] <= fft[s]) do
                      Entranotaxi;
                    end;
                  end;
                i := i + 1;
                if inicio = ord[i,1]
                then begin
                  if i <= soma
                  then begin
                    Procuraponto;
                    Entranafila;
                    for s := 1 to NZ do
                      begin
                        while(ii[s]<=ff[s])and(ift[s] <= fft[s])do
                          Entranotaxi;
                        end;
                      end;
                    i := i + 1;
                    if inicio = ord[i,1]
                    then begin
                      if i <= soma
                      then begin
                        Procuraponto;
                        Entranafila;
                        for s := 1 to NZ do
                          begin
                            while(ii[s]<=ff[s])and(ift[s] <= fft[s])do
                              Entranotaxi;
                            end;
                          end;
                        i := i + 1;
                        if inicio = ord[i,1]

```

```

        then begin
            if i <= soma
            then begin
                Procuraponto;
                Entranafila;
                for s := 1 to NZ do
                    begin
                        while(ii[s]<=ff[s])and(ift[s] <= ftt[s])do
                            Entranotaxi;
                        end;
                    end;
                i := i + 1;
                if inicio = ord[i,1]
                then begin
                    Procuraponto;
                    Entranafila;
                end;
            end;
        end;
    end;
    for s := 1 to NZ do
        begin
            while (ii[s] <= ff[s]) and (ift[s] <= ftt[s]) do
                Entranotaxi;
            end;
            Atendimento;
            if (i > soma) then ultimo := true;
        end;
    end;
end
else begin
    for s := 1 to NZ do
        begin
            while (ii[s] <= ff[s]) and (ift[s] <= ftt[s]) do
                Entranotaxi;
            end;
            Atendimento;
        end;
    end;
end;
end;

{ Calcula o tempo e a distancia totais }
Procedure Total;
begin
    temtotal := 0;
    disttotal := 0;
    for i := 1 to soma do
        begin

```



```

    temtotal := temtotal + round(TV[i]);
    distotal := distotal + distancia[i];
end;
end;

{ Calcula a espera media dos usuarios de taxi }
Procedure Esperadosusuarios;
var esperatotal : real;           { Espera de todos os usuarios }
    esperazona : array [1..30] of real; { tempo medio de espera na zona }
begin
    esperatotal := 0;
    esperamedia := 0;
    for i := 1 to soma do
        begin
            esperatotal := esperatotal + espera[i];
        end;
    if esperatotal <> 0 then esperamedia := esperatotal / soma;
    for z := 1 to NZ do
        begin
            esperazona[z] := 0;
            espezomedia[z] := 0;
        end;
    for i := 1 to soma do
        begin
            for z := 1 to NZ do
                begin
                    if ord[i,2] = z
                    then esperazona[z] := esperazona[z] + espera[i];
                end;
            end;
        end;
    for z := 1 to NZ do
        begin
            if esperazona [z] <> 0
            then espezomedia[z] := esperazona[z] / N[z];
        end;
    end;
end;

{ Arquivo de saida }
Procedure Leiturarqsai;
var arqsai      : text;           { Arquivo de saida }
    nomearqsai : string [15]; { Nome do arquivo de saida }
begin
    clrscr;
    write ('De o nome do arquivo de saida : ');
    readln (nomearqsai);
    assign (arqsai,nomearqsai);
    rewrite (arqsai);
    assign (arqsai,nomearqsai);
    reset (arqsai);

```

```

for z := 1 to NZ do
begin
  read (arqus,reg);
  writeln (arqsai,' P ',' T ',' H ',' PD ',' DEST ');
  for k := 1 to N[z] do
    begin
      writeln(arqsai,reg.P[1,k]:3,' ':2,reg.T[1,k]:3:0,' ':2,reg.H[1,k]:4:0,' ':2,reg.PD[1,k]:3,'
      ':2,reg.dest[1,k]:4);
    end;
    writeln (arqsai,'Numero de chegadas N [' ,z, ' ] = ',N[z]);
  end;
  close (arqus);
  writeln (arqsai,'Numero maximo de chegadas Nmax = ',Nmax);
  writeln (arqsai,'Numero total de chegadas : soma = ',soma);
  writeln (arqsai,' I ','CHEGADA ','ORIGEM ','DESTINO ','TV ','EMBARQUE','
  ESPERA', ' DIST');
  for i := 1 to soma do
    begin
      writeln(arqsai,i:3,ord[i,1]:7:0,ord[i,2]:6:0,ord[i,3]:8:0,TV[i]:5:0,embarque[i]:7,espera
      [i]:7:0,distancia[i]:5);
    end;
    writeln (arqsai,' TEMPO TOTAL = ',temtotal);
    writeln (arqsai,' DISTANCIA TOTAL = ',distotal);
    writeln (arqsai,' ESPERA MEDIA NO SISTEMA = ',esperamedia:2:1);
    writeln (arqsai,' ZONA ',' ESPERA MEDIA ');
    for z := 1 to NZ do
      begin
        writeln (arqsai,z:4,' ':5,espezomedia[z]:6:1);
      end;
      writeln (arqsai,' I ','EMBARQUE',' ZONA',' TAXI',' TV ','DESEMBARQUE');
      for i := 1 to soma do
        begin
          writeln(arqsai,i:3,' ':1,embarque[i]:6,' ':4,zona[i]:2,' ':2,auxtaxi[i]:3,' ':2,TV[i]:2:0,'
          ':4,viagem[i]:4:0);
        end;
        writeln (arqsai,' TAXI',' CORRIDAS');
        for j := 1 to tx do
          begin
            writeln (arqsai,j:4,servico[j].corrida:7);
          end;
        close (arqsai);
      end;
    end;

{ Principal }
begin
  Leituratempo;
  Leituradistancia;
  Dadosiniciais;
  Leiturafrota;

```

```
Dadosoferta;  
Arquivoespera;  
Chegmax;  
Ordemchegada;  
Chegadatotal;  
Filataxi;  
Oferta;  
Total;  
Esperadosusuarios;  
Leiturarqsai;  
end.
```


APÊNDICE V

PROGRAMA PARA ALTERNATIVA COM RÁDIO TÁXI

```

program LIVRE;
uses crt,printer;
{ Geracao de chegadas de usuarios em zonas de taxi }

type matint = array [1..1,1..300] of integer; { Matriz do tipo inteira }
    matreal = array [1..1,1..300] of real;    { Matriz do tipo real }
    usuario = record                          { Registro de cada usuario }
        A      : matreal; { Area da curva normal }
        dest   : matint;  { Destino do usuario }
        desvio, { Desvio de interchegada }
        H      : matreal; { Hora de chegada do usuario }
        media,  { Interchegada media }
        P,      { No randomico gerado para chegadas }
        PD,     { No randomico gerado para destinos }
        Pinf,   { Probabilidade inferior de chegadas }
        Psup   : matint;  { Probabilidade superior de chegadas }
        T      : matreal; { Tempo de interchegada }
        Tinf,   { Tempo inferior de interchegada }
        Tsup   : matint;  { Tempo superior de interchegada }
        ZZ     : matreal; { Variavel padronizada da curva normal }
    end;
taxi = record { Registro de cada taxi }
    corrida    : integer; { No. de corridas por taxi }
    destino     : real;    { Ponto de destino do taxi }
    ocupado     : boolean; { Condicao de servico do taxi }
    pontofinal  : integer; { Ponto final do taxi }
    procura     : boolean; { Condicao de procurar um outro ponto de destino }
    tempocupado : real;    { Tempo de viagem do taxi }
    usu         : integer; { No. do usuario do taxi }
end;

var arqu      :file of usuario; { Arquivo de usuarios-fichario }
    atend,    { Numero de taxis liberados }
    auxcote   :longint;         { Coluna da matriz dos tempos }
    auxlite   :longint;         { Linha da matriz de tempos }
    auxtaxi   :array [1..600] of integer; { Taxi que o usuario embarcou }
    cc        :integer;         { Coluna do arquivo da matriz O/D }
    chegada   :array [1..61,1..20] of integer; { Unidade da matriz de chegadas }
    col       :integer;         { Coluna do arquivo de chegadas }
    colu      :array [1..30] of integer; { Coluna do arquivo de chegadas }
    coluna,   { Coluna do arquivo de tempos }
    coteaux,  { Coluna do arquivo de tempos }
    cotedes   :integer;         { Coluna do arquivo de tempos }
    curva     :array [1..30,1..18] of integer; { Indica a curva de chegadas }
    deixafila :boolean;         { Variavel de controle do embarque }

```

destax	:integer;	{ Destino do taxi }
dista	:array [1..6,1..19] of integer;	{ Unidade do arquivo de distancia }
distancia	:array [1..600] of integer;	{ Distancia de viagem do usuario }
distotal	:integer;	{ Dist. tot. para atender a demanda }
embarque	:array [1..600] of integer;	{ Embarque do usuario no taxi }
espe	:array [1..6,1..18] of integer;	{ Unidade do arquivo de esperas }
espera	:array [1..600] of real;	{ Tempo de espera do usuario }
esperamedia	:real;	{ Tempo medio de espera }
espezomedia	:array [1..30] of real;	{ Tempo medio de espera na zona }
F,		{ Frota da zona }
ff,		{ Fim da fila de usuarios }
fft	:array [1..30] of integer;	{ Fim da fila de taxis }
fila	:array [1..5,1..600] of integer;	{ Fila de usuarios na zona }
fim	:integer;	{ No de zonas procuradas }
frota	:array [1..5,1..2] of integer;	{ Unid. do arquivo de frotas }
ftaxi	:array [1..5,1..600] of integer;	{ Taxi livre da fila }
hh	:integer;	{ No da hora simulada }
hora	:array [1..18] of integer;	{ Hora simulada }
i	:integer;	{ Ordem de chegada dos usuarios }
ii,		{ Inicio da fila de usuarios }
ift	:array [1..5] of integer;	{ Inicio da fila de taxis }
inicio,		{ Incremento da simulacao }
j,		{ Indice dos taxis na zona }
jj,		{ Var. de controle das zonas }
k	:integer;	{ Indice de chegadas na zona }
kk	:array [1..5] of integer;	{ Indice de chegada na zona }
lidis,		{ Linha do arquivo das distancias }
lifro,		{ Linha do arquivo de frotas }
lin,		{ Linha do arquivo de chegadas }
linha,		{ Var. contr. das linhas procuradas }
linor,		{ Linha do arquivo da curva normal }
liteaux,		{ Linha do dest. no arq. de tempos }
litedes,		{ Linha do arquivo de distancias }
ll	:integer;	{ Linha do arquivo da matriz O/D }
N	:array [1..5] of integer;	{ No de chegadas na zona }
NH,		{ No de horas da simulacao }
Nmax	:integer;	{ No maximo de chegadas na zona }
nomearqus	:string [15];	{ Nome do arquivo de usuarios }
NT	:array [1..5] of integer;	{ No. de taxis na zona }
NZ	:integer;	{ No de zonas }
ord	:array [1..600,1..3] of real;	{ Ordem de chegadas }
ordes	:array [1..10,1..18] of integer;	{ Unid. do arquivo da matriz O/D }
pegamenor	:boolean;	{ Var. de contr. do tempo minimo }
per	:array [1..18] of integer;	{ Periodo da hora observada }
ponto,		{ Pto de menor dist. ao destino }
pp,		{ Hora observada }
pto	:integer;	{ Zona de destino do taxi }
reg	:usuario;	{ Registro de usuarios-fichario }
s	:integer;	{ Indice de zona }

servico	:array [1..190] of taxi;	{ Servico de taxi na zona }
soma,		{ No total de chegadas }
ss	:integer;	{ Indice auxiliar de zona }
talivre	:array [1..30] of integer;	{ Taxi livre na zona }
temin	:integer;	{ Tempo minimo entre zonas }
tempo	:array [1..32,1..31] of integer;	{ Unid. arquivo de viagem }
temtotal	:integer;	{ Tempo tot. p/ a demanda }
Tesp	:array [1..5] of integer;	{ Tempo de esp. do taxi na zona }
tm	:array [1..30] of integer;	{ Tempo minimo do taxi }
TV	:array [1..600] of real;	{ Tempo de viagem do usuario }
tx	:integer;	{ No. total de taxis }
viagem	:array [1..600] of real;	{ Tempo final de viagem }
z	:integer;	{ Indice de zonas }
zon	:array [1..190] of integer;	{ Zona de origem do taxi }
zona	:array [1..600] of integer;	{ Zona de embarque do usuario }

{ Funcao que verifica se pode usar a coluna do tempo minimo }

Function pode (auxcote : integer) : boolean;

begin

pode := true;

for jj := 1 to fim do

begin

if auxcote = colu[jj]

then pode := false;

end;

end;

{ Funcao que verifica se tem taxi livre na fila }

Function taxilivre (var ift,fft : integer) : integer;

begin

if (ift > fft)

then begin

taxilivre := 0;

ift := 0;

fft := 0;

end

else begin

taxilivre := ift;

ift := ift + 1;

end;

end;

{ Le os dados da matriz de tempos de viagem entre zonas }

Procedure Leituratempo;

var arqtem : text;

{ Arquivo dos tempos de viagem }

cote : real;

{ Coluna do arquivo dos tempos de viagem }

cotemax : integer;

{ No de colunas do arquivo dos tempos de viagem }

lite : real;

{ Linha do arquivo dos tempos de viagem }

litemax,

{ No de linhas do arquivo dos tempos de viagem }


```

    NMT      : integer;    { No de matrizes dos tempos de viagem }
    nomearqtem : string [15]; { Nome do arquivo dos tempos de viagem }
begin
    clrscr;
    write ('Digite o nome do arquivo de tempos: ');
    readln (nomearqtem);
    assign (arqtem,nomearqtem);
    reset (arqtem);
    write ('Digite o numero de horas da simulacao: NH = ');
    readln (NH);
    write ('Digite o numero de matrizes de tempo: NMT = ');
    readln (NMT);
    write ('Digite o numero de zonas: NZ = ');
    readln (NZ);
    litemax := NMT*(NZ+1)+1;
    write ('Digite o numero de colunas do arqtem: cotemax = ');
    readln (cotemax);
    auxlite := round(int(lite));
    auxcote := round(int(cote));
    for auxlite:= 1 to litemax do
        for auxcote := 1 to cotemax do
            read (arqtem,tempo[auxlite,auxcote]);
        close (arqtem);
    end;

    { Le os dados da matriz de distancias de viagem entre zonas }
    Procedure Leituradistancia;
    var arqdis      : text;      { Arquivo das distancias de viagem }
        codimax,    { No. de colunas do arquivo das distancias de viagem }
        codis,      { Coluna do arquivo das distancias de viagem }
        lidimax     : integer;   { No. de linhas do arquivo das distancias de viagem }
        nomearqdis : string[15]; { Nome do arquivo das distancias de viagem }
begin
    clrscr;
    write ('Digite o nome do arquivo de distancias: ');
    readln (nomearqdis);
    assign (arqdis,nomearqdis);
    reset (arqdis);
    lidimax := NZ + 1;
    write ('Digite o numero de colunas do arqdis: codimax = ');
    readln (codimax);
    for lidis := 1 to lidimax do
        begin
            for codis := 1 to codimax do
                begin
                    read (arqdis,dista[lidis,codis]);
                end;
            end;
        end;
end;

```

```

    close (arqdis);
end;

{ Dados iniciais }
Procedure Dadosiniciais;
begin
    for z := 1 to NZ do
        begin
            kk[z] := 1;
            for k := 1 to 300 do
                reg.H[z,k] := 10000;
            end;
        end;
    for hh := 1 to NH do
        begin
            hora [hh] := hh*60;
        end;
    end;

    { Le os dados do arquivo de frota em cada zona }
    Procedure Leiturafrota;
    var arqfro      : text;      { Arquivo das frotas de taxi }
        cofro,      { Coluna do arquivo das frotas de taxi }
        lifromax    : integer;   { Numero de linhas do arquivo de frotas }
        nomearqfro : string [15]; { Nome do arquivo de frotas }
    begin
        clrscr;
        write ('Digite o nome do arquivo de frotas: ');
        readln (nomearqfro);
        assign (arqfro,nomearqfro);
        reset (arqfro);
        lifromax := NZ;
        for lifro := 1 to lifromax do
            for cofro := 1 to 2 do
                read (arqfro,frota[lifro,cofro]);
            end;
        end;
        close (arqfro);
    end;

    { Atribui os dados iniciais da Procedure Oferta }
    Procedure Dadosoferta;
    begin
        inicio := 0;
        atend := 0;
        for z := 1 to NZ do
            begin
                ii[z] := 1;
                ff[z] := 0;
                ift[z] := 0;
                fft[z] := 0;
            end;
        end;
    end;

```

```

for z := 1 to 30 do
  F[z] := 0;
for z := 1 to NZ do
  begin
    F[z] := frota [z,2];
  end;
end;

```

```

{ Le as esperas no sistema e as interchegadas nas zonas }
Procedure Arquivoespera;
var arqesp      : text;      { Arquivo de esperas }
    escol       : integer;   { Coluna do arquivo de esperas }
    eslin       : integer;   { Linha do arquivo de esperas }
    nomearqesp  : string [15]; { Nome do arquivo de esperas }
begin
  clrscr;
  write ('Digite o nome do arquivo de esperas: ');
  readln (nomearqesp);
  assign (arqesp,nomearqesp);
  reset (arqesp);
  for eslin := 1 to NZ+1 do
    for escol := 1 to NH do
      read (arqesp,espe[eslin,escol]);
    close (arqesp);
  end;
end;

```

```

{ Determina o numero maximo de chegadas }
Procedure Chegmax;
begin
  clrscr;
  for z :=1 to NZ do
    begin
      write ('N['',z,'] = ');
      readln (N[z])
    end;
  Nmax := N[1];
  for z := 1 to NZ do
    begin
      if Nmax < N[z]
      then Nmax := N[z]
    end;
  end;
end;

```

```

{ Determina a ordem de chegadas }
Procedure Ordemchegada;
var auxdest : array [1..5] of matint; { Destino do usuario }
    auxH     : array [1..5] of matreal; { Hora de chegada do usuario }
    destino  : integer;                { Destino do usuario em fase de ordenacao }
    min      : real;                   { Hora de chegada em fase de ordenacao }

```



```

    origem,                                { Origem do usuario }
    zk      : integer;                     { Indice de chegada do usuario }
begin
    clrscr;
    write ('Digite o nome do arquivo das chegadas dos usuarios: ');
    readln (nomearqus);
    clrscr;
    write (' P R O C E S S A N D O ... ');
    assign (arqus,nomearqus);
    reset (arqus);
    for z := 1 to NZ do
        begin
            read (arqus,reg);
            auxH[z] := reg.H;
            auxdest[z] := reg.dest;
        end;
    close (arqus);
    min := auxH[1][1,1];
    origem := 1;
    destino := auxdest[1][1,1];
    i := 0;
    for zk := 1 to NZ*Nmax do
        begin
            for z := 1 to NZ do
                begin
                    if min > auxH[z][1,kk[z]]
                    then begin
                        min := auxH[z][1,kk[z]];
                        origem := z;
                        destino := auxdest[z][1,kk[z]];
                    end;
                end;
            i := i+1;
            ord[i,1] := min;
            ord[i,2] := origem;
            ord[i,3] := destino;
            kk[origem] := kk[origem]+1;
            min := auxH[1][1,kk[1]];
            origem := 1;
            destino := auxdest[1][1,kk[1]];
        end;
    end;

{ Determina o numero total de chegadas }
Procedure Chegadatotal;
begin
    soma := 0;
    for z := 1 to NZ do
        begin

```

```

        soma := soma + N[z];
    end;
end;

{ Coloca os taxis em fila }
Procedure Filataxi;
begin
    tx := 0;
    for s := 1 to NZ do
        begin
            for j := 1 to F[s] do
                begin
                    if ift[s] = 0
                    then begin
                        ift[s] := 1;
                        fnt[s] := 1;
                        tx := tx + 1;
                        ftaxi [s,fnt[s]] := tx;
                        zon[tx] := s;
                    end
                    else begin
                        fnt[s] := fnt[s] + 1;
                        tx := tx + 1;
                        ftaxi [s,fnt[s]] := tx;
                        zon[tx] := s;
                    end;
                end;
            end;
        end;
    for j := 1 to tx do
        begin
            servico[j].corrida := 0;
            servico[j].tempocupado := 0;
            servico[j].ocupado := false;
            servico[j].procura := false;
        end;
    end;
end;

```

```

{ O usuario entra na fila }
Procedure Entranafila;
begin
    if ii[s] = 1
    then begin
        ii[s] := 1;
        fnt[s] := 1;
        fila [s,fnt[s]] := i;
    end
    else begin
        fnt[s] := fnt[s] + 1;
        fila [s,fnt[s]] := i;
    end;
end;

```

```

        end;
    end;

    { Procura a zona com frota mais proxima do destino do taxi }
    Procedure Procuradestino;
    var lides : integer; { Variavel auxiliar de litedes }

    begin
        cotedes := round(ord[filas,ii[s]],3) + 1;
        litedes := tempo[1,hh] + 1;
        linha := litedes;
        temin := tempo[litedes,cotedes];
        fim := 0;
        for lides := litedes to (NZ+litedes-1) do
            begin
                if temin > tempo[lides,cotedes]
                then begin
                    temin := tempo[lides,cotedes];
                    linha := lides;
                end;
            end;
        fim := fim + 1;
        tm[fim] := temin;
        colu[fim] := linha;
        lifro := tempo [2,colu[fim]-1];
        ss := lifro;
        F[ss] := frota [ss,2];
        if F[ss] > 0
        then servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino := ss
        else begin
            pegamenor := false;
            while not(pegamenor) do
                begin
                    auxcote := tempo[1,hh] + 1;
                    temin := 9999;
                    while (auxcote <= NZ+litedes-1) do
                        begin
                            if pode(auxcote)
                            then begin
                                if temin > tempo[auxcote,cotedes]
                                then begin
                                    temin := tempo[auxcote,cotedes];
                                    linha := auxcote;
                                end;
                            end;
                            auxcote := auxcote + 1;
                        end;
                    fim := fim + 1;
                    tm[fim] := temin;
                end;
            end;
        end;
    end;

```



```

    colu[fim] := linha;
    lifro := tempo [2,colu[fim]];
    ss := lifro;
    F[ss] := frota[ss,2];
    if F[ss] > 0
    then begin
        pegamenor := true;
        servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino := ss;
    end;
end;
end;
end;

{ O usuario entra na fila, embarca se houver taxi vazio, e calcula a espera }
Procedure Entranotaxi;
var coteaux,          { Coluna de destino na matriz de tempos }
    lidiaux : integer; { Linha auxiliar da matriz de distancias }
begin
    talivre[s] := taxilivre (ift[s],fnt[s]);
    if talivre[s] <> 0
    then begin
        destax := round(ord[fila[s,ii[s]],3]);
        if F[destax] > 0
        then servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino := ord[fila[s,ii[s]],3]
        else Procuradestino;
        auxlite := tempo[1,hh] + round(ord[fila[s,ii[s]],2]);
        auxcote := round(ord[fila[s,ii[s]],3]) + 1;
        lidis := round(ord[fila[s,ii[s]],2]) + 1;
        if s = ord[fila[s,ii[s]],2]
        then begin
            if ord[fila[s,ii[s]],3] = servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino
            then begin
                TV[fila[s,ii[s]]] := trunc(tempo[auxlite,auxcote] / 2);
                distancia[fila[s,ii[s]]] := trunc(dista[lidis,auxcote] / 2);
            end
        else begin
            coteaux := round(ord[fila[s,ii[s]],3]) + 1;
            destax := round(servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino);
            liteaux := tempo[1,hh] + destax;
            lidiaux := destax + 1;
            TV[fila[s,ii[s]]] := trunc((tempo[auxlite,auxcote] +
tempo[liteaux,coteaux]) / 2);
            distancia[fila[s,ii[s]]] := trunc((dista[lidis,auxcote] +
dista[lidiaux,coteaux]) / 2);
        end;
    end
    else begin
        if ord[fila[s,ii[s]],3] = servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino
        then begin

```

```

        destax := round(servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino);
        TV[filas,ii[s]] := trunc((tempo[auxlite,s+1] +
tempo[auxlite,destax+1]) / 2);
        distancia[filas,ii[s]] := trunc((dista[lidis,s+1] +
dista[lidis,destax+1]) / 2);
    end
    else begin
        coteaux := round(ord[filas,ii[s]],3) + 1;
        destax := round(servico[ftaxi[s,talivre[s]]].destino);
        liteaux := tempo[1,hh] + destax;
        TV[filas,ii[s]] := trunc((tempo[auxlite,auxcote] + tempo[auxlite,s+1] +
tempo[liteaux,coteaux]) / 2);
        distancia[filas,ii[s]] := trunc((dista[lidis,auxcote] + dista[lidis,s+1] +
dista[destax+1,coteaux]) / 2);
    end;
end;
servico[ftaxi[s,talivre[s]]].corrida := servico[ftaxi[s,talivre[s]]].corrida + 1;
servico[ftaxi[s,talivre[s]]].usu := filas,ii[s];
servico[ftaxi[s,talivre[s]]].tempocupado := inicio + TV[filas,ii[s]];
servico[ftaxi[s,talivre[s]]].ocupado := true;
embarque [filas,ii[s]] := inicio;
espera [filas,ii[s]] := inicio - ord [filas,ii[s]],1;
auxtaxi[filas,ii[s]] := ftaxi[s,talivre[s]];
zona[filas,ii[s]] := s;
viagem[filas,ii[s]] := servico[ftaxi[s,talivre[s]]].tempocupado;
ii[s] := ii[s] + 1;
end;
end;

```

{ Identifica o destino com tempo minimo para a zona de origem }

Procedure Tempominimo;

begin

auxlite := tempo[1,hh] + round(ord[i,2]);

temin := tempo[auxlite,2];

coluna := 2;

fim := 0;

for auxcote := 2 to (NZ+1) do

begin

if temin > tempo[auxlite,auxcote]

then begin

temin := tempo[auxlite,auxcote];

coluna := auxcote;

end;

end;

pegamenor := false;

fim := fim + 1;

tm[fim] := temin;

colu[fim] := coluna;

lifro := tempo [2,colu[fim]];

```

s := lifro;
if ( ift[s] <= ftt[s] )
then pegamenor := true
else begin
  while not(pegamenor) do
  begin
    auxcote := 2;
    temin := 9999;
    while (auxcote <= NZ+1) do
    begin
      if pode(auxcote)
      then begin
        if temin > tempo[auxlite,auxcote]
        then begin
          temin := tempo[auxlite,auxcote];
          coluna := auxcote;
        end;
      end;
      auxcote := auxcote + 1;
    end;
    fim := fim + 1;
    tm[fim] := temin;
    colu[fim] := coluna;
    lifro := tempo [2,colu[fim]];
    s := lifro;
    if ( ift[s] <= ftt[s] )
    then pegamenor := true;
  end;
end;
end;

{ Atende os usuarios que solicitam taxi }
Procedure Atendimento;
var TEV : array [1..600] of integer; { Incremento od tempo de viagem do usuario }
    us   : integer;                  { No. do usuario do taxi a ser liberado }
begin
  for j := 1 to tx do
  begin
    if (servico[j].tempocupado=inicio) and (servico[j].ocupado=true)
    then begin
      pto := round(servico[j].destino);
      ftt[pto] := ftt[pto] + 1;
      ftaxi[pto,ftt[pto]] := j;
      servico[j].tempocupado := 0;
      servico[j].ocupado := false;
      servico[j].procura := false;
      atend := atend + 1;
    end;
  end;
end;

```



```

    inicio := inicio + 1;
end;

```

```

{ Procura ponto que tem frota }
Procedure Procuraponto;
var auxord : integer; { Variavel inteira de ord[i,2] }
begin
    lifro := 1;
    if frota[lifro,1] = ord[i,2]
    then begin
        auxord := round(ord[i,2]);
        if ( ift[auxord] <= ftt[auxord] )
        then s := auxord
        else Tempominimo;
    end
    else begin
        repeat
            if frota[lifro,1] <> ord[i,2]
            then lifro := lifro + 1;
        until frota[lifro,1] = ord[i,2];
        auxord := round(ord[i,2]);
        if ( ift[auxord] <= ftt[auxord] )
        then s := auxord
        else Tempominimo;
    end;
end;

```

```

{ Aloca taxi aos usuarios que chegam ao ponto }
Procedure Oferta;
var ultimo : boolean; { Ultimo usuario a ser atendido }
begin
    i := 1;
    while atend < soma do
        begin
            if ord[i,1] <= hora[NH]
            then begin
                for hh := 1 to NH do
                    begin
                        ultimo := false;
                        while (ord[i,1] <= hora[hh]) and (ultimo=false) do
                            begin
                                if inicio = ord[i,1]
                                then begin
                                    if i <= soma
                                    then begin
                                        Procuraponto;
                                        Entranafila;
                                        for s := 1 to NZ do
                                            begin

```

```

        while (ii[s] <= ff[s]) and (ift[s] <= fft[s]) do
            Entranotaxi;
        end;
    end;
    i := i + 1;
    if inicio = ord[i,1]
    then begin
        if i <= soma
        then begin
            Procuraponto;
            Entranafila;
            for s := 1 to NZ do
                begin
                    while(ii[s]<=ff[s])and(ift[s] <= fft[s])do
                        Entranotaxi;
                    end;
                end;
            end;
            i := i + 1;
            if inicio = ord[i,1]
            then begin
                if i <= soma
                then begin
                    Procuraponto;
                    Entranafila;
                    for s := 1 to NZ do
                        begin
                            while(ii[s]<=ff[s])and(ift[s] <= fft[s])do
                                Entranotaxi;
                            end;
                        end;
                    end;
                    i := i + 1;
                    if inicio = ord[i,1]
                    then begin
                        if i <= soma
                        then begin
                            Procuraponto;
                            Entranafila;
                            for s := 1 to NZ do
                                begin
                                    while(ii[s]<=ff[s])and(ift[s] <= fft[s])do
                                        Entranotaxi;
                                    end;
                                end;
                            end;
                            i := i + 1;
                            if inicio = ord[i,1]
                            then begin
                                Procuraponto;
                                Entranafila;
                                end;
                            end;
                        end;
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

```

                                end;
                            end;
                        end;
                    end;
                for s := 1 to NZ do
                begin
                    while (ii[s] <= ff[s]) and (ift[s] <= fft[s]) do
                        Entranotaxi;
                    end;
                    Atendimento;
                    if (i > soma) then ultimo := true;
                end;
            end;
        end
    else begin
        for s := 1 to NZ do
        begin
            while (ii[s] <= ff[s]) and (ift[s] <= fft[s]) do
                Entranotaxi;
            end;
            Atendimento;
        end;
    end;
end;

{ Calcula o tempo e a distancia totais }
Procedure Total;
begin
    temtotal := 0;
    distotal := 0;
    for i := 1 to soma do
    begin
        temtotal := temtotal + round(TV[i]);
        distotal := distotal + distancia[i];
    end;
end;

{ Calcula a espera media dos usuarios de taxi }
Procedure Esperadosusuarios;
var esperatotal : real;           { Espera de todos os usuarios }
    esperazona : array [1..30] of real; { tempo medio de espera na zona }
begin
    esperatotal := 0;
    esperamedia := 0;
    for i := 1 to soma do
    begin
        esperatotal := esperatotal + espera[i];
    end;
    if esperatotal <> 0 then esperamedia := esperatotal / soma;

```



```

for z := 1 to NZ do
begin
esperazona[z] := 0;
espezomedia[z] := 0;
end;
for i := 1 to soma do
begin
for z := 1 to NZ do
begin
if ord[i,2] = z
then esperazona[z] := esperazona[z] + espera[i];
end;
end;
for z := 1 to NZ do
begin
if esperazona [z] <> 0
then espezomedia[z] := esperazona[z] / N[z];
end;
end;
end;

{ Arquivo de saida }
Procedure Leiturarqsai;
var arqsai      : text;      { Arquivo de saida }
    nomearqsai : string [15]; { Nome do arquivo de saida }
begin
clrscr;
write ('De o nome do arquivo de saida : ');
readln (nomearqsai);
assign (arqsai,nomearqsai);
rewrite (arqsai);
assign (arqus,nomearqus);
reset (arqus);
for z := 1 to NZ do
begin
read (arqus,reg);
writeln (arqsai,' P ',' T ',' H ',' PD ',' DEST ');
for k := 1 to N[z] do
begin
writeln(arqsai,reg.P[1,k]:3,' ':2,reg.T[1,k]:3:0,' ':2,reg.H[1,k]:4:0,' ':2,reg.PD[1,k]:3,'
':2,reg.dest[1,k]:4);
end;
writeln (arqsai,'Numero de chegadas N [' ,z,'] = ',N[z]);
end;
close (arqus);
writeln (arqsai,'Numero maximo de chegadas Nmax = ',Nmax);
writeln (arqsai,'Numero total de chegadas : soma = ',soma);
writeln (arqsai,' I ','CHEGADA ','ORIGEM ','DESTINO ','TV ','EMBARQUE','
ESPERA',' DIST');
for i := 1 to soma do

```

```

begin
writeln(arqsai,i:3,ord[i,1]:7:0,ord[i,2]:6:0,ord[i,3]:8:0,TV[i]:5:0,embarque[i]:7,espera
[i]:7:0,distancia[i]:5);
end;
writeln(arqsai,' TEMPO TOTAL = ',temtotal);
writeln(arqsai,' DISTANCIA TOTAL = ',distotal);
writeln(arqsai,' ESPERA MEDIA NO SISTEMA = ',esperamedia:2:1);
writeln(arqsai,' ZONA ', ESPERA MEDIA ');
for z := 1 to NZ do
begin
writeln(arqsai,z:4,' ':5,espezomedia[z]:6:1);
end;
writeln(arqsai,' I ',EMBARQUE,' ZONA', TAXI,' TV ',DESEMBARQUE);
for i := 1 to soma do
begin
writeln(arqsai,i:3,' ':1,embarque[i]:6,' ':4,zona[i]:2,' ':2,auxtaxi[i]:3,' ':2,TV[i]:2:0,'
':4,viagem[i]:4:0);
end;
writeln(arqsai,' TAXI', CORRIDAS');
for j := 1 to tx do
begin
writeln(arqsai,j:4,servico[j].corrida:7);
end;
close(arqsai);
end;

{ Principal }
begin
Leituratempo;
Leituradistancia;
Dadosiniciais;
Leiturafrota;
Dadosoferta;
Arquivoespera;
Chegmax;
Ordemchegada;
Chegadatotal;
Filataxi;
Oferta;
Total;
Esperadosusuarios;
Leiturarqsai;
end.

```