

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E GEOTECNIA
NUCLETRANS – NÚCLEO DE TRANSPORTES**

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM
LOGÍSTICA ESTRATÉGICA E SISTEMAS DE TRANSPORTE**

**OTIMIZAÇÃO DE ALOCAÇÃO DE ÔNIBUS E NÚMERO DE VIAGENS NAS
LINHAS URBANAS DO MUNICÍPIO DE IBIRITÉ**

Monografia

Alexandre de Oliveira Cunha

Belo Horizonte, 2011

Alexandre de Oliveira Cunha

**OTIMIZAÇÃO DE ALOCAÇÃO DE ÔNIBUS E NÚMERO DE VIAGENS NAS
LINHAS URBANAS DO MUNICÍPIO DE IBIRITÉ**

Trabalho apresentado ao Curso de Especialização em Logística Estratégica e Sistemas de Transporte, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do Título de Especialista em Logística Estratégica e Sistemas de Transporte.

Orientadora: Professora Leise Kelli de Oliveira

Belo Horizonte, 2011

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	Objetivo Geral	5
1.2	Objetivos Específicos.....	5
1.3	Justificativas	6
2	TRANSPORTE DE PASSAGEIROS	6
2.1	Características do Transporte Público	6
2.2	História do Transporte Público	8
2.3	Panorama Atual.....	11
2.4	Ibirité	12
3	METODOLOGIA	13
3.1	Modelos Matemáticos	13
3.2	Métodos de Otimização	14
3.3	GAMS.....	15
4	MODELO	17
4.1	Parâmetros do modelo	17
4.2	Definição do Custo	19
4.3	Períodos Analisados	21
4.3.1	Período 1: 06:00 – 08:00 (Pico Manhã).....	21
4.3.2	Período 2: 18:00 – 20:00 (Pico Tarde).....	28
4.3.3	Período 3: 24h (Dia Inteiro).....	31
5	CONCLUSÃO	34
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

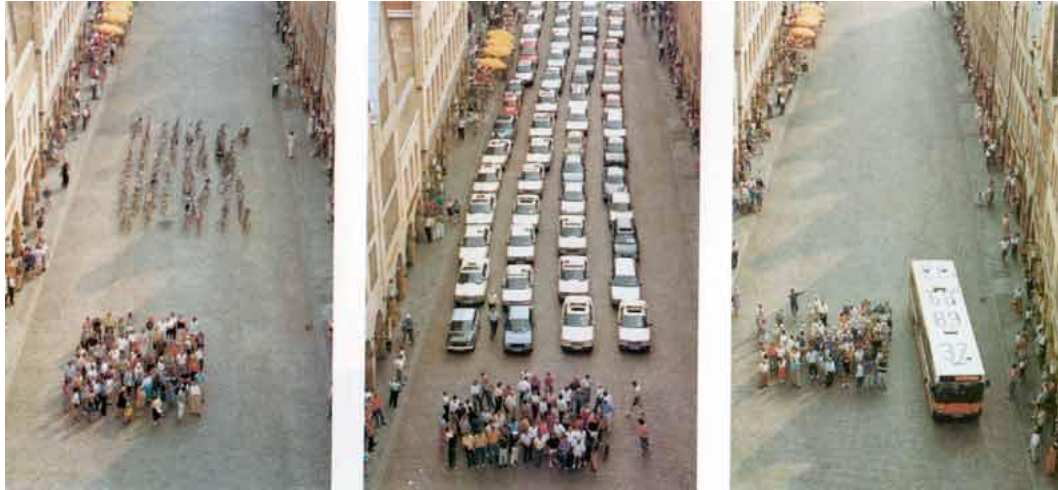
1 INTRODUÇÃO

A viagem ao trabalho, uma visita a um parente, um encontro na casa do amigo, uma mercadoria chegando em um estabelecimento, uma consulta ao médico, realizar um depósito no banco. Essas são algumas das mais diversas situações em que a população de uma cidade necessita de um meio de transporte para se deslocar, ou movimentar um objeto. Existem várias maneiras de se fazer esse deslocamento. Se a distância for pequena, anda-se a pé. Por meios próprios tem o automóvel, a bicicleta, a moto, dentre outros. Quando não se tem um meio de transporte próprio é preciso usar o transporte público que pode ser o ônibus, metrô, táxi, trem, ou no caso de transporte de carga, terceirizar o transporte.

O fluxo de pessoas e materiais em uma cidade é muito grande. Se todas as pessoas usassem seu meio próprio, a cidade ficaria imobilizada. Por não se ter outra alternativa ou por economia, muitos utilizam o transporte público como o seu meio de locomoção. A cidade, através do poder público, é obrigada a oferecer um transporte digno à sua população.

Nas cidades da Europa e dos Estados Unidos, por serem cidades mais desenvolvidas e com uma cultura de longas gerações, existe muito o transporte subterrâneo, que na sua maior parte foi construído nos séculos XIX e XX. No Brasil são poucas as cidades que possuem o metrô e nas que possuem, a malha é pouco desenvolvida. Por isso o transporte por ônibus é o meio de transporte público mais utilizado pela população brasileira.

O transporte coletivo é de extrema importância para a mobilidade urbana. Como se pode comprovar na figura a seguir, um ônibus carrega um número de pessoas em um espaço bem menor do que se esse mesmo número de pessoas fosse distribuído em carros particulares, principalmente quando se considera que a média de pessoas em um veículo particular é menor do que duas. Mas, para que a população adote o transporte coletivo, ele precisa ter algumas características como, frota em bom estado de conservação, nível de conforto satisfatório, frequência adequada e segurança.



Fonte: <http://www.geo.sunysb.edu/bicycle-muenster/index.html>

Esse trabalho é focado no nível de conforto, que satisfaz o usuário, e no custo, que satisfaz a empresa responsável pela prestação desse serviço. Através de um programa de otimização e dados de linhas que atendem a cidade de Ibirité, localizada na Região Metropolitana de Belo Horizonte, será calculado o número ótimo de ônibus alocados e viagens realizadas para que se transporte a população dentro do nível de conforto estabelecido e ao menor custo.

1.1 Objetivo Geral

Otimizar a alocação de ônibus e o número de viagens das linhas da cidade de Ibirité para atender a demanda de passageiros com conforto e ao menor custo.

1.2 Objetivos Específicos

- Contextualizar o transporte público na logística;
- Relatar a história e a evolução do transporte público;
- Mostrar as modalidades de transporte público;
- Definir modelo matemático e métodos de otimização;
- Demonstrar o modelo e os dados utilizados;
- Comparar o resultado do modelo com a realidade;
- Relatar os objetivos adquiridos pelo modelo.

1.3 Justificativas

A falta de mobilidade nas cidades está cada vez mais perceptível. Uma das soluções para amenizar este problema urbano é o investimento no transporte público, como forma de reduzir o número de carros nas ruas. Além disso, o maior uso do transporte público, em detrimento do transporte individual, colabora com meio ambiente já que a emissão de gás carbônico seria menor.

Para que o transporte público tenha uma aceitação maior, ele tem que ser prestado em alta qualidade. Investimentos em estudos, análises, frota e infraestrutura precisam ser feitos para satisfazer os usuários. O intuito desse trabalho é analisar o transporte coletivo urbano de Ibirité, cidade da Região Metropolitana de Belo Horizonte, no quesito de alocação de frota e número de viagens realizadas. A demanda de passageiros na cidade está crescendo e ocorre superlotação em algumas das quatro linhas que atendem o município. Usando dados como demanda, capacidade dos ônibus e custos, será utilizado um modelo matemático para otimizar a alocação de frota e o número de viagens, com o intuito de atender a demanda de passageiros com mais conforto e ao menor custo.

2 TRANSPORTE DE PASSAGEIROS

2.1 Características do Transporte Público

A intenção desse trabalho é focar no transporte coletivo urbano. Apesar do avanço tecnológico e do aumento de trocas de informações virtuais, a movimentação de pessoas é grande e fundamental para o crescimento de uma cidade. A mobilidade é um assunto muito discutido nos dias de hoje, já que cada vez mais existem mais carros nas ruas e o tempo perdido no trânsito é grande.

Segundo a NTU, Associação Nacional das Empresas de Transporte Público, (NTU, 2001), os mercados de transporte urbano de passageiros, considerados como prestação de serviços a usuários finais, podem ser delimitados em três tipos:

- Mercado de transporte urbano de passageiros: compreende o conjunto das viagens motorizadas de pessoas em uma área urbana ou metropolitana, bem como as organizações e sistemas que oferecem os serviços de transporte ou o suporte de infra-estrutura para esses deslocamentos. Inclui as viagens por meios coletivos (ônibus, microônibus, trens e outros) e individuais (automóveis, motocicletas, etc);

- Mercado de transporte coletivo urbano de passageiros: É o componente do mercado de transporte urbano que inclui as viagens motorizadas, realizadas por meios de transporte coletivos e as organizações, transportadores autônomos e sistemas que operam os serviços de transporte ou fornecem o suporte de infra-estrutura para esses deslocamentos. Os sistemas coletivos admitem o acesso livre de duas ou mais pessoas aos meios de transporte, mediante o pagamento de tarifa preestabelecida, ou são privativos de determinados grupos de pessoas que contratam os serviços em caráter regular ou eventual. O mercado de transporte coletivo urbano de passageiros inclui o transporte público e os serviços de fretamento e de transporte clandestino por ônibus, kombis, microônibus e vans;
- Mercado de transporte público coletivo urbano de passageiros: É o segmento do mercado de transporte coletivo que se utiliza de serviços regulamentados e controlados pelo poder público, prestados diretamente por organizações pertencentes à administração pública estadual ou municipal ou delegados/autorizados a empresas operadoras privadas ou transportadores autônomos.

Ainda segundo a NTU (Associação Nacional das Empresas de Transporte Público, 2001), o transporte coletivo é um serviço que difere da produção de produtos. Os serviços são intangíveis, de produção e consumo simultâneos, não padronizáveis e não estocáveis.

A prestação do serviço de transporte coletivo tem as seguintes características:

- Intangibilidade: os serviços não podem ser vistos, provados ou sentidos antes de serem comprados. Os passageiros de uma empresa de ônibus rodoviário, por exemplo, não tem nada antes de uma viagem, a não ser uma passagem e a expectativa de uma chegada segura aos seus destinos. Nesse sentido, para reduzir as incertezas, os usuários procuram por sinais de qualidade de serviço. Eles tiram conclusões sobre a qualidade a partir de tudo que puderem observar: o lugar, as pessoas, o equipamento, o preço. Portanto, a tarefa do prestador de serviços é tornar essa qualidade tangível, mais concreta, de várias maneiras. Trabalhar o aspecto e o design dos veículos, manter os funcionários bem vestidos, escolher uma marca ou símbolo para a empresa que sugira qualidade e presteza, são alguns dos exemplos de como conferir tangibilidade aos serviços.

- Inseparabilidade: os serviços apresentam a produção e o consumo simultâneos. Os produtos físicos são manufaturados, estocados, vendidos e depois consumidos, mas os serviços são primeiro vendidos e depois produzidos e consumidos ao mesmo tempo. Assim, eles são inseparáveis daqueles que os proporcionam. No caso do transporte coletivo, o serviço não existe independentemente do pessoal de operação e dos veículos. Uma vez que o

cliente também está presente quando o serviço é produzido, a interação fornecedor-cliente é um aspecto essencial: tanto o comportamento do cliente quanto a atuação do fornecedor afetam o resultado do serviço. Essa dinâmica entre o cliente e o fornecedor, própria da prestação de serviços, exige investimentos contínuos da empresa na capacitação profissional do pessoal operacional – que mantém contato direto com o cliente – no dimensionamento da frota e regularidade da oferta e na melhoria das condições de conforto e design dos veículos, entre outros.

- Variabilidade: os serviços são altamente variáveis, heterogêneos, ou seja, não são padronizáveis. A qualidade dos serviços depende de quem oferta e de quando, onde e como são proporcionados. No transporte coletivo, mesmo que se busque padronizar os veículos, fixar os trajetos, cumprir intervalos regulares entre viagens, preparar as equipes operacionais a partir de princípios e procedimentos preestabelecidos, outros fatores irão intervir, fazendo variar a qualidade do serviço prestado. Não existe padrão, cada viagem no transporte coletivo é diferente, principalmente porque envolve pessoas que prestam os serviços – os motoristas, por exemplo – cada um com seu nível de desempenho, e outras que deles são usuárias e que também mudam de comportamento de acordo com as circunstâncias. Nesse sentido, as empresas devem tomar várias medidas para garantir o controle da qualidade. Elas podem selecionar e treinar cuidadosamente o seu pessoal, proporcionar incentivos para os empregados, visando a estimular a prestação do serviço com qualidade. Uma empresa deve também checar regularmente o nível de satisfação de seus clientes por meio de mecanismos de recolhimento de sugestões e reclamações ou realizando pesquisas periódicas.

- Perecibilidade: os serviços não podem ser estocados. Diferentemente do setor de comércio de sapatos, por exemplo, que possibilita o estoque de mercadorias e a sua venda ao longo de determinado tempo, de acordo com a procura, o setor de serviços, em geral, enfrenta problemas motivados pela inconstância da demanda. Devido à demanda na hora do pico, as empresas de transporte público, por exemplo, são forçadas a utilizar mais veículos do que seria necessário se a demanda fosse uniformemente distribuída durante todo o dia. Para equacionar essa situação, precisam lançar mão de algumas estratégias que levem ao equilíbrio entre demanda e oferta, como cobrar tarifas diferenciadas por horários, por exemplo.

2.2 História do Transporte Público

O transporte público é um meio de transporte no qual o usuário não é proprietário do veículo. O serviço de levar o passageiro de um ponto x ao ponto y é terceirizado, realizado por empresas públicas ou privadas, através de concessão.

A história do transporte público é muito interessante. O pioneiro foi o francês Blaise Pascal, em 1662. O rei Luis XIV concedeu a licença para explorar cinco rotas em Paris, o veículo utilizado era uma carruagem com oito lugares. O serviço já tinha algumas características que são usadas até hoje. As carruagens seguiam um itinerário pré-estabelecido, com horários estipulados e cobrança de tarifa, que era 5 sols (sols era a moeda da época). O sistema perdurou por uns quinze anos. A tarifa aumentou, já que o Parlamento queria restringir o serviço apenas para a classe alta, e o negócio foi perdendo a popularidade.



Fonte: http://ecalculo.if.usp.br/historia/blaise_pascal.htm

Apenas em 1826, o também francês Stanislas Baudry recriou o transporte público, na cidade de Nantes, agora usando como veículo o ônibus, que vem da palavra em latim omnibus e que significa “para todos”. Os ônibus da época ainda eram puxados por cavalos. Com o sucesso do serviço, o mesmo Stanislas Baudry levou o transporte público por ônibus para Paris em 1828 e começou a difundir no mundo todo. Logo depois foi implantado em Londres, Nova Iorque e no resto do mundo.



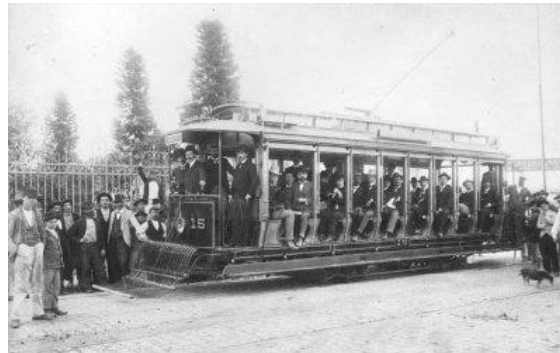
Fonte: <http://www.emdurb.com.br/site2010/coletivo/curiosidade.htm>

No Brasil, o primeiro serviço de transporte público por ônibus foi em 1838, no Rio de Janeiro, com dois carros de dois pavimentos. Após dificuldades no início, devido à oposição dos proprietários de carros de praça, a companhia, pioneira na prestação desse tipo de serviço no Brasil, prosperou bastante.

O primeiro bonde do Brasil, ainda guiado por animais, começou a circular em 1859. A força animal foi substituída pelo vapor em 1862 e em 1892 foi apresentado o primeiro bonde elétrico do Brasil e de toda América do Sul.



Fonte: <http://rememorarte.blog.br/?p=2216>



Fonte: http://www.estacoesferroviarias.com.br/bondes_sp/bondessp.htm

O primeiro serviço regular de ônibus a gasolina foi introduzido em 1908 no Rio de Janeiro. A mecânica dos carros era do fabricante Daimler e a carroceria de origem francesa. Logo depois São Paulo já desenvolvia seu sistema de transporte coletivo e aos poucos foi difundindo para todo o Brasil. (museudantu.org.br)

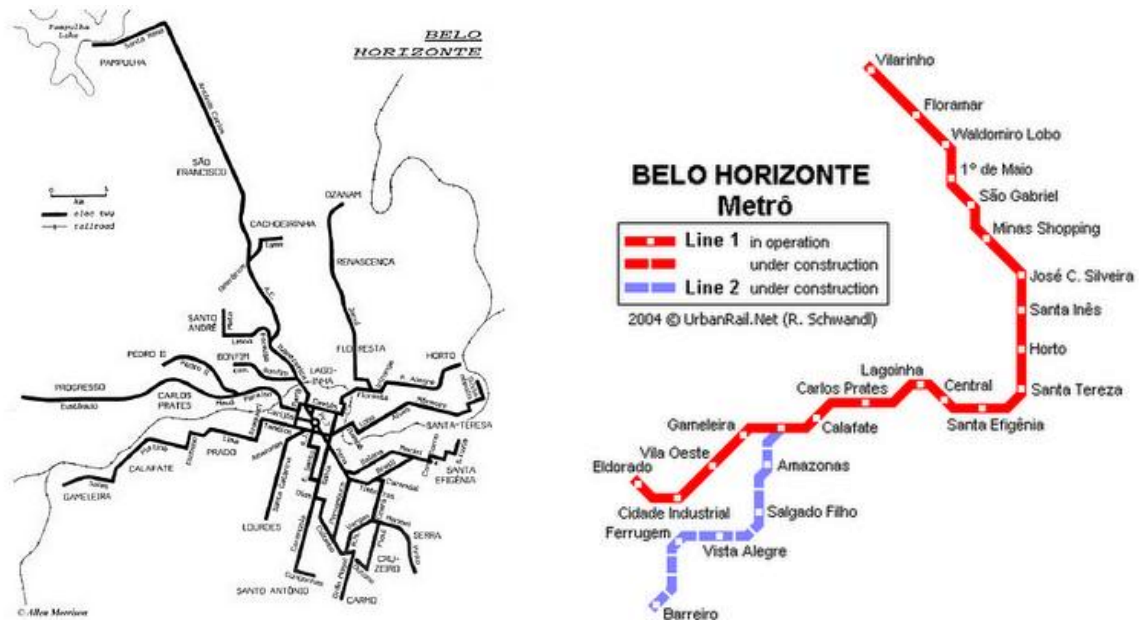
Em Belo Horizonte, os serviços de bondes começaram em setembro de 1902, já com veículos de tração elétrica. Em 1923 foi criada a primeira linha de auto-ônibus, para suprir as regiões que os bondes não atendiam. Principal meio de transporte de massa na época, os bondes tiveram problemas para se desenvolver com a falta de energia elétrica em períodos de seca e falta de investimentos públicos.



Fonte: <http://classicalbuses.fotopages.com/?entry=1142714>

Na década de 1950 os bondes foram sucateando e a dificuldade para fazer reparos era cada vez maior, deixando muitos bondes fora de operação. O governo se via na necessidade de investir mais e mais nos ônibus. Em 1965 o

transporte por bondes foi extinto. (<http://bairrosdebelohorizonte.webnode.com.br>) Hoje se tem apenas uma linha de metrô, com apenas 28 quilômetros e uma frota de quase 3 mil ônibus percorrendo toda a cidade. Na figura abaixo percebe-se como o bonde antigamente atingia muito mais área do que o metrô atual.



Fonte: <http://pedrolemosarquitetando.blogspot.com/2010/11/tempos-modernos.html>

2.3 Panorama Atual

Apesar do gradual crescimento da população brasileira, nos últimos anos observa-se uma diminuição dos passageiros pagantes, muito em função do crescimento do transporte ilegal e do aumento de carros e motocicletas particulares. Além disso, os passageiros ficaram mais exigentes. Portanto, com a necessidade do aumento da qualidade do serviço prestado e a redução de passageiros pagantes, as empresas tiveram que readequar sua gestão para cativar os usuários atuais e atrair novos.

Atualmente se tem discutido muito sobre investimentos e sofisticação no transporte público no Brasil devido à realização da Copa do Mundo de futebol em 2014. Construção de novas linhas de metrô é um investimento muito alto. A alternativa que se equipara em quantidade de passageiros transportados e que tem um custo até dez vezes menor do que o metrô é o BRT (*Bus Rapid Transit*). Basicamente, o BRT é um sistema com pistas exclusivas para ônibus. Estes são de alta capacidade, sendo articulado ou até mesmo bi-articulado. Ao longo das pistas exclusivas, existem estações modernas com o pagamento adiantado da tarifa e embarque no nível para que se agilize o embarque dos passageiros nos ônibus.

2.4 Ibirité

Ibirité surgiu aproximadamente em 1890 como um povoado de nome de Vargem de Pantana, na freguesia de Sabará. Tal povoado foi mais tarde escolhido pela educadora russa Helena Antipoff para ser a sede de suas obras que ainda são a referência maior da cidade. Em 1890, passou a condição de vila, ainda pertencendo a Sabará. Em 1897, passou a pertencer ao município de Santa Quitéria, atualmente Esmeralda. Em 1911, a região passou a integrar o município de Betim. Em 1923, tem sua denominação mudada para Ibirité, palavra indígena que significa terra firme. Em 1938, passa à categoria de distrito, pertencendo ao município de Betim, figurando a denominação atual. No dia 30 de dezembro de 1962, passa à categoria de município, com os distritos sede e Sarzedo. Em 1976, foi criado o distrito de Durval de Barros e em 1985 o distrito de Mário Campos. Atualmente, Ibirité limita-se com os municípios de Belo Horizonte pelo leste e nordeste (distância de 25 km da capital), Contagem e Betim pelo norte. Sarzedo pelo oeste e Brumadinho pelo sul.

O município de Ibirité apresenta elevado grau de urbanização, 98%. Até 1970, menos de 20% da população vivia em área urbana e as atividades ligadas ao setor primário eram a principal ocupação do município. Coincidindo com o grande crescimento demográfico da década de 1970, observado na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Ibirité passou por um processo intenso de urbanização quando a população urbana passou de 20% para 68%. As regiões industriais de Belo Horizonte e Contagem exercem um forte poder de polarização capaz de atrair novos moradores. As regiões do Barreiro em Belo Horizonte e do Riacho em Contagem estão conurbadas com o noroeste do município de Ibirité. (<http://www.ibirite.mg.gov.br>)

A seguir alguns dados de Ibirité:

- Área: 73,027 km²;
- População: 220.000 habitantes *est. IBGE/2009*;
- Densidade: 2.034,0 habitantes/km²;
- Altitude: 872 m;
- IDH: 0,729 médio *PNUD/2000*;
- PIB: R\$ 643.543 mil *IBGE/2005*;
- PIB per capita: R\$ 3.844,00 *IBGE/2005*.

3 METODOLOGIA

3.1 Modelos Matemáticos

Modelos matemáticos são usados em diversas áreas: Engenharia, Física, Química, Biologia, Economia, Comunicação, Psicologia, entre outras. Eles podem ser definidos como uma representação de um sistema real. Geralmente um sistema real é muito complexo, então o modelo é uma simplificação do mundo real, mas os dados usados no sistema modelado precisam ser fiéis à realidade para que não interfira nas características e comportamentos do sistema. Aplicar a modelagem de forma equivocada, com valores e equações incorretas, pode frustrar o pesquisador ou até mesmo levar à resultados incoerentes, ocasionando prejuízos.

Segundo Sodré (2007), alguns aspectos são essenciais na construção do modelo:

- Devemos possuir uma base matemática muito boa para formular as hipóteses que permitirão um melhor entendimento quantitativo dos objetos reais e a resposta no mundo real;
- Às vezes, a construção do modelo pode ajudar a identificar informações em que o conhecimento e os dados sejam insuficientes;
- A modelagem pode estimular idéias e abordagens experimentais;
- A modelagem poderá reduzir a importância dos experimentos no próprio local, habilitando o modelo experimental a dar respostas a questões particulares entre algumas hipóteses alternativas;
- Comparados com os métodos tradicionais, às vezes, modelos fazem um melhor uso dos dados, que se tornam cada vez mais precisos, porém mais difíceis de obter;
- Informações do mundo real podem ser passadas para o modelo matemático, dando uma abordagem unificada e muitas vezes estimulando a colaboração e o trabalho em equipe;
- Com muita frequência, o modelo proporciona um resumo conveniente dos dados;
- Em modelos, podemos usar métodos de interpolação, aproximação, extrapolação ou de previsão dos dados;

- Um bom modelo pode ser usado para sugerir prioridades para a pesquisa e desenvolvimento aplicados. Se a sugestão for usada com cautela, poderá ajudar o responsável pela pesquisa a tomar decisões importantes.

3.2 Métodos de Otimização

Os problemas de otimização são problemas de maximização ou minimização de função de uma ou mais variáveis em um determinado domínio. Geralmente existe um conjunto de restrição nas variáveis.

Para melhor entendimento dos algoritmos de otimização, faz-se necessário o conhecimento de alguns conceitos e definições utilizados na literatura (BASTOS, 2004). Seguem alguns termos usualmente relacionados a um problema de otimização qualquer:

- Variáveis de projeto: São aquelas que se alteram durante o processo de otimização, podendo ser contínuas (reais), inteiras ou discretas.
- Restrições: São funções de igualdade ou desigualdade sobre as variáveis de projeto que descrevem situações de projeto consideradas não desejáveis.
- Espaço de busca: É o conjunto, espaço ou região que compreende as soluções possíveis ou viáveis sobre as variáveis do projeto do problema a ser otimizado, sendo delimitado pelas funções de restrição.
- Função objetivo: É a função de uma ou mais variáveis de projeto que se quer otimizar, minimizando-a ou maximizando-a.
- Ponto ótimo: É o ponto formado pelas variáveis de projeto que extremizam a função objetivo e satisfazem as restrições.
- Valor ótimo: É o valor da função objetivo no ponto ótimo.

Os algoritmos usados para a solução de um problema de otimização podem ser, basicamente determinísticos ou probabilísticos.

Os métodos de otimização baseados nos algoritmos determinísticos – maioria dos métodos clássicos – geram uma seqüência determinística de possíveis soluções requerendo, na maioria das vezes, o uso de pelo menos a primeira derivada da função objetivo em relação às variáveis de projeto.

Nestes métodos, a função objetivo e as restrições são dadas como funções matemáticas e relações funcionais. Além disso, a função objetivo deve ser contínua e diferenciável no espaço de busca (BASTOS, 2004).

Quando se trata de um problema de variáveis discretas, considera-se um espaço de busca com variáveis contínuas que, após a otimização, fornecerão uma aproximação das variáveis de projeto para as disponíveis no espaço discreto. Entretanto, isso gera um trabalho adicional na escolha das variáveis discretas mais próximas das contínuas encontradas. Sempre existirão duas opções de variáveis discretas para cada variável contínua, ou seja, uma imediatamente superior e outra imediatamente inferior.

Os métodos determinísticos apresentam teoremas que lhes garantem a convergência para uma solução ótima que não é necessariamente a solução ótima global. Como nesses métodos a solução encontrada é extremamente dependente do ponto de partida fornecido, pode-se convergir para um ótimo local, por isso não possuem bom desempenho em otimizar funções multimodais, isto é, funções que possuem vários ótimos locais.

De acordo com Olivieri (2004), Bastos (2004) e Haftka (1993), os problemas de otimização abordados pelos métodos clássicos podem ser classificados em duas classes, conforme as características da função objetivo e das restrições:

- Programação Linear: quando a função objetivo e as restrições são funções lineares das variáveis de projeto. O método Simplex é o método mais tradicional para solucionar este tipo de problema de otimização (HADLEY, 1982);
- Programação Não-Linear: quando a função objetivo, ou pelo menos uma das restrições, é uma função não-linear das variáveis do projeto. Nesta classe, os métodos que mais se destacam são: Método de Programação Linear Seqüencial, Método de Programação Quadrática Seqüencial, Método das Direções Viáveis e Método do Gradiente Reduzido, entre outros.

Os métodos de otimização baseados nos algoritmos probabilísticos usam somente a avaliação da função objetivo e introduzem no processo de otimização dados e parâmetros estocásticos. Por não utilizarem a derivada da função objetivo, são considerados métodos de ordem zero.

3.3 GAMS

O GAMS (*General Algebraic Modeling System*) é um sistema de modelagem linear, não linear, inteiro e misto. O *software* foi criado na década de 1960 pelo Banco Mundial. Na época, apenas um pequeno grupo de programadores tinha conhecimento dos códigos de programação. Sendo assim, os economistas gastavam mais tempo tentando entender a lógica da linguagem de programação do que analisando dados. Portanto, o Banco Mundial se viu na necessidade de

criar um *software* de fácil manuseio e entendimento. Hoje ele é usado nas mais diversas áreas.

O *software* GAMS permite ao utilizador concentrar-se nos dados do seu modelo, abstraindo-se dos algoritmos de resolução. Ele dispõe de uma biblioteca dos melhores solvers para cada um dos tipos de problemas (CPLEX, MINOS, etc). É bom lembrar que o GAMS não otimiza, ele é uma linguagem de programação, quem otimiza são os solvers. O *software* utilizado no modelo deste estudo é a versão estudante que possui a limitação de no máximo 300 restrições e variáveis, 2.000 elementos não nulos e 50 variáveis discretas.

4 MODELO

O modelo de otimização será baseado em algoritmo determinístico com programação linear e será aplicado nas quatro linhas municipais que atendem a cidade de Ibirité, localizada na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Com o modelo matemático será estabelecido o número ótimo de ônibus e de viagens, isso porque alguns períodos estudados correspondem à duração de uma viagem, portanto o resultado pode ser considerado como sendo o número de ônibus alocados e viagens realizadas. No modelo se levará em consideração o custo e o conforto, sempre visando o melhor atendimento à demanda de passageiros.

4.1 Parâmetros do modelo

Existem quatro linhas que operam no município de Ibirité, que nesse estudo serão identificadas como L1, L2, L3 e L4. A empresa responsável pela prestação do serviço de transporte coletivo em Ibirité possui 15 veículos alocados como mostra a Tabela 1. A capacidade dos modelos de ônibus foi considerada como sendo o número de assentos do veículo mais seis passageiros por metro quadrado em pé, já que a área útil estabelecida foi menor do que a área que a Bhtrans considera e o nível de conforto em Belo Horizonte é de 5 passageiros por metro quadrado.

Tabela 4.2.1: Tipo de ônibus, quantidade e capacidade

Modelos de ônibus	Quantidade	Capacidade
Convencional 1418 (O1)	6	71
Micrão 1418 (O2)	2	60
Convencional 1721 (O3)	5	77
Convencional 1722 (O4)	2	75

Dados da empresa estudada

Para facilitar a identificação, os modelos serão denominados conforme escrito entre parênteses, sendo O1, O2, O3 e O4.

A demanda considerada (Tabela 2) baseou-se no número de passageiros embarcados durante os dias úteis do mês de agosto de 2010, que é um mês com alta demanda, sendo analisados três períodos: de 6 horas às 8 horas, de 18 horas às 20 horas e o dia inteiro. O primeiro é o pico da manhã, o segundo o pico da tarde e no terceiro, considera-se o dia inteiro para ter uma visão geral das linhas.

Uma restrição que será incluída no modelo matemático é o uso do O2, modelo de menor capacidade, nas L2 e L4, linhas de maior demanda. O restante dos modelos de ônibus pode rodar em qualquer uma das linhas.

Tabela 4.2.2: Demanda nos três períodos analisados

Linhas	06:00 – 08:00	18:00 – 20:00	24h
L1	76	32	234
L2	563	207	3.716
L3	269	112	1.344
L4	283	202	2.133

Dados da empresa estudada

As quatro linhas possuem viagens com duração de aproximadamente duas horas. Assim, no período de 6:00 às 8:00 e 18:00 às 20:00, uma viagem corresponde a um ônibus. Por exemplo, um ônibus X saiu na viagem de 6:00. A duração da viagem foi de 2h, então o mesmo ônibus X estará disponível para realizar uma viagem após o horário de 8:00. Durante esse intervalo, de 6:00 e 8:00, a quantidade de viagens no quadro de horário será a quantidade de ônibus necessário para cumprir o quadro. A demanda considerada é exatamente a quantidade de passageiros embarcados nesse intervalo. Portanto, pode-se entender que o resultado do modelo matemático estudado, além de ser a quantidade de ônibus, também será a quantidade de viagens necessária no quadro de horário para atender a demanda.

Como o intervalo de 6:00 às 8:00 é a parte do dia com maior demanda, a quantidade de ônibus necessária para atender a demanda desse intervalo será a quantidade mínima de ônibus necessária para atender a demanda das linhas da cidade de Ibirité. Já no período considerando o dia todo, o modelo dará o resultado de quantas viagens, feitas pelos modelos de ônibus, serão necessárias para atender a demanda com conforto.

Segue a tabela com a distribuição das viagens do quadro de horário atual nos três períodos.

Tabela 4.2.3: Distribuição atual de viagens em Ibirité

Linhas	06:00 – 08:00	18:00 – 20:00	24h
L1	1	1	6
L2	6	4	40
L3	2	2	19
L4	4	3	31
Total	13	10	96

Dados da empresa estudada

4.2 Definição do Custo

Os custos podem ser divididos em custo variável e custo fixo. O custo variável é aquele que se altera dependendo da quilometragem rodada, já o custo fixo não, independe da quilometragem.

Para o custo variável, considera-se o custo do combustível, lubrificante (óleo de cárter, óleo caixa de mudança, óleo diferencial, fluido de freio e graxa), rodagem (pneu, câmara, protetor e recapagem) e peças e acessórios. Os custos de lubrificante e rodagem serão os mesmos para os quatro modelos de ônibus. O primeiro será R\$ 0,0422/km e o segundo R\$ 0,1408/km (valores usados na planilha de custo da empresa analisada). O custo de peças e acessórios será de R\$ 0,4201/km para todos os modelos exceto o O3 que terá um custo maior devido à sua composição, sendo de R\$ 0,4546/km. Já o custo do combustível será definido de acordo com o rendimento do modelo

Considerando o mês de agosto, se fez a média de consumo de combustível dos modelos e o resultado foi o seguinte:

Tabela 4.3.1: Consumo de combustível por modelo

Modelos de ônibus	Rendimento (km/l)	Porcentagem em relação ao Convencional 1722 (O4)
Convencional 1418 (O1)	2,22	5,21%
Micrão 1418 (O2)	2,27	7,58%
Convencional 1721 (O3)	2,14	1,42%
Convencional 1722 (O4)	2,11	-

Dados da empresa estudada

O custo do combustível considerado foi de R\$ 0,7323/km. Este será usado no modelo de menor rendimento, os demais serão reduzidos proporcionalmente ao rendimento. Portanto, a tabela 5 apresenta os custos variáveis dos combustíveis.

Tabela 4.3.2: Custos variáveis

Modelos de ônibus	Combustível	Lubrificante	Rodagem	Peças e Acessórios	Total (R\$/km)
Convencional 1418 (O1)	0,6941	0,0422	0,1408	0,4201	1,2973
Micrão 1418 (O2)	0,6768	0,0422	0,1408	0,4201	1,2799
Convencional 1721 (O3)	0,7219	0,0422	0,1408	0,4546	1,3595
Convencional 1722 (O4)	0,7323	0,0422	0,1408	0,4201	1,3354

Dados da empresa estudada

No custo fixo são considerados os valores de mão de obra, que são os salários, encargos sociais, benefícios dos motoristas, cobradores, fiscais, pessoal de manutenção e pessoal de administração. Custos de depreciação e remuneração do capital de veículos, capital aplicado em almoxarifado, máquinas, instalações e equipamentos, despesas administrativas e despesas com seguro obrigatório e Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA). Como o propósito principal não é otimizar o custo real e sim o relativo, os custos fixos não serão considerados no custo do modelo. Porém, como o modelo micrão 1418 (O2) trabalha apenas com o motorista, sem o cobrador, e isso resulta em uma diferença considerável no custo dos modelos de ônibus, será acrescido nos demais tipos de veículos um percentual de 19,37% referente ao custo de mão de obra do cobrador. Sendo assim, o custo total considerado em cada tipo de veículo está apresentado na tabela 6.

Tabela 4.3.3: Custos considerados no modelo

Modelos de ônibus	Custo Variável (R\$/km)	Porcentagem acrescida referente ao custo do cobrador	Custo Total (R\$/km)
Convencional 1418 (O1)	1,2973	19,37%	1,5486
Micrão 1418 (O2)	1,2799	-	1,2799
Convencional 1721 (O3)	1,3595	19,37%	1,6229
Convencional 1722 (O4)	1,3595	19,37%	1,5941

Dados da empresa estudada

As linhas analisadas possuem viagens com a distância percorrida relacionada na Tabela 7. Multiplicando esse valor pelo custo por quilômetro de cada modelo de ônibus, chega-se ao custo de uma viagem de cada linha por cada modelo.

Tabela 4.3.4: Distância percorrida

Linhas	L1	L2	L3	L4
Distância Da Viagem (km)	39,2	37,8	61	36,8

Tabela 4.3.4.1: Custo por viagem por linha analisada

Modelos de ônibus	Custo (R\$/km)	Custo por viagem (R\$/viagem)			
Convencional 1418 (O1)	1,5486	60,70	58,54	94,46	56,99
Micrão 1418 (O2)	1,2799	50,17	48,38	78,07	47,10
Convencional 1721 (O3)	1,6229	63,62	61,34	98,99	59,72
Convencional 1722 (O4)	1,5941	62,49	60,26	97,24	58,66

4.3 Períodos Analisados

4.3.1 Período 1: 06:00 – 08:00 (Pico Manhã)

O parâmetro padrão utilizado no programa GAMS foi:

Figura 4.4.1: Período 1

```
SETS
I Tipo Onibus / O1*O4/
J Linhas / L1*L4/;

PARAMETERS
CAP(I) Capacidade do Onibus em Numero de Passageiros
/ O1 71
  O2 65
  O3 77
  O4 75/

NUM(I) Quantidade de Onibus
/ O1 6
  O2 2
  O3 5
  O4 2/

PASS(J) Passageiros a serem transportados em cada Linha - Pico Manhã (06:00)
/ L1 76
  L2 563
  L3 269
  L4 283/;

TABLE ALOCACAO(I,J) Matriz de Alocacao em cada Linha por Tipo de Onibus
      L1  L2  L3  L4
O1  1   1   1   1
O2  1   0   1   0
O3  1   1   1   1
O4  1   1   1   1;
```

```

TABLE CUSTO(I,J) Custo Operacional por Viagem por Tipo de Onibus
      L1      L2      L3      L4
01    60.70    58.54    94.46    56.99
02    50.17    48.38    78.07    47.10
03    63.62    61.34    98.99    59.72
04    62.49    60.26    97.24    58.66;

VARIABLES
Z DEFINE A FUNCAO OBJETIVO
X(I,J) ALOCACAO DE ONIBUS A LINHA;

INTEGER VARIABLE X;

EQUATIONS
FO          Equacao que define o custo operacional total
NONIBUS(I)  Equacao que define o numero de onibus alocados
DEMANDA(J)  Equação para atender a demanda da linha;

FO          .. Z =E= SUM((I,J), CUSTO (I,J)*X(I,J));
NONIBUS(I)  .. SUM(J, X(I,J)) =L= NUM(I);
DEMANDA(J)  .. SUM(i, CAP(I)*ALOCACAO(I,J)*X(I,J)) =G= PASS(J);

MODEL MODELO /ALL/;
SOLVE MODELO MINIMIZING Z USING MIP;

DISPLAY Z.L, X.L, X.M;

```

O *SETS* é onde se define os índices, nesse caso são os modelos de ônibus e as linhas.

Nos *PARAMETERS* (parâmetros) e *TABLES* (tabelas) são declarados os dados e atribuídos os valores.

Nas *VARIABLES*, definem-se as variáveis. No modelo tem a variável Z, que define a função objetivo e X(I,J) que é a alocação de ônibus à linha.

Como um ônibus não pode ser usado pela metade, ou então fazer apenas uma parte da viagem, a variável tem que ser inteira (*INTEGER VARIABLE*).

Nas *EQUATIONS* tem a função objetivo, que define o custo, a função que define o número de ônibus alocados que deve ser menor (=L=) que a quantidade de ônibus NUM(I) e a função que atende a demanda que diz que a capacidade dos ônibus CAP(I), respeitando a matriz ALOCAÇÃO(I,J) deve ser maior (=G=) que a demanda de passageiro PASS(J).

No *SOLVE* pede-se para resolver o modelo minimizando o custo usando o MIP, que significa programação inteira mista.

O Z.L, X.L e X.M do *DISPLAY* significa que o modelo mostrará os resultados da função objetivo, das variáveis e o valor marginal da variável, respectivamente.

Com a quantidade de ônibus disponível, não foi possível resolver o problema, ou seja, não foi possível atender a toda demanda com o nível de conforto estabelecido.

Para que se chegasse ao número necessário de ônibus, ou no caso, viagens, com custo ótimo, no parâmetro “Quantidade de ônibus” arbitrou-se um valor muito alto. E assim o resultado foi o seguinte, já comparando com o quadro de horário (QH) atual.

Tabela 4.4.1.1: Resultado do período entre 6:00 e 8:00

Quantidade	Cenário 1.1	L1	L2	L3	L4	Total
60000	O1	-	8	-	4	12
20000	O2	-	-	3	-	3
50000	O3	1	-	-	-	1
20000	O4	-	-	1	-	1
	Total	1	8	4	4	17
	QH Atual	1	6	2	4	13
	Custo	1.091,350				

Para este período, o atual quadro de horário da empresa analisada não é suficiente para atender à demanda e talvez, está até “perdendo” passageiros, já que nesse período a quantidade atual de viagens é 13 e o modelo mostrou que para atender a demanda de acordo com as restrições estabelecidas, precisaria de 17 viagens. A linha L1 e L4 estão oferecendo a quantidade de viagens adequadas. A defasagem está nas linhas L2 e L3, cada uma com duas a menos.

A empresa responsável pelo transporte em Ibirité possui 15 ônibus disponíveis. Considerando que esse é o período de maior demanda e que estão empenhados 13 ônibus, então seria necessário uma frota de 17 a 19 ônibus para atender a demanda das linhas com conforto no período de maior demanda, já que o resultado do modelo foi 17 ônibus.

O mesmo modelo foi gerado novamente, mas agora com a quantidade de ônibus necessária. Ao invés dos 15 veículos, foram considerados 17, distribuídos das mais diversas formas, sem alterar muito a realidade atual. O principal propósito é comparar o custo.

Tabela 4.4.1.2: Novos cenários do período entre 6:00 e 8:00

Quantidade	Cenário 1.2	L1	L2	L3	L4	Total
8(+2)	O1	-	4	-	4	8
2	O2	-	-	2	-	2
5	O3	1	2	2	-	5
2	O4	-	2	-	-	2
	Total	1	8	4	4	17
	QH Atual	1	6	2	4	13
	Custo	1.123,060				

Quantidade	Cenário 1.3	L1	L2	L3	L4	Total
6	O1	-	2	-	4	6
2	O2	-	-	2	-	2
7(+2)	O3	1	4	2	-	7
2	O4	-	2	-	-	2
	Total	1	8	4	4	17
	QH Atual	1	6	2	4	13
	Custo	1.128,660				

Quantidade	Cenário 1.4	L1	L2	L3	L4	Total
6	O1	-	2	-	4	6
2	O2	-	-	2	-	2
5	O3	1	2	2	-	5
4(+2)	O4	-	4	-	-	4
	Total	1	8	4	4	17
	QH Atual	1	6	2	4	13
	Custo	1.126,500				

Quantidade	Cenário 1.5	L1	L2	L3	L4	Total
7(+1)	O1	-	3	-	4	7
3(+1)	O2	-	-	3	-	3
5	O3	1	3	1	-	5
2	O4	-	2	-	-	2
	Total	1	8	4	4	17
	QH Atual	1	6	2	4	13
	Custo	1.104,940				

Quantidade	Cenário 1.6	L1	L2	L3	L4	Total
7(+1)	O1	-	3	-	4	7
2	O2	-	-	2	-	2
6(+1)	O3	1	3	2	-	6
2	O4	-	2	-	-	2
	Total	1	8	4	4	17
	QH Atual	1	6	2	4	13
	Custo	1.125,860				

Quantidade	Cenário 1.7	L1	L2	L3	L4	Total
7(+1)	O1	-	3	-	4	7
2	O2	-	-	2	-	2
5	O3	1	2	2	-	5
3(+1)	O4	-	3	-	-	3
	Total	1	8	4	4	17
	QH Atual	1	6	2	4	13
	Custo	1.124,780				

Quantidade	Cenário 1.8	L1	L2	L3	L4	Total
6	O1	-	2	-	4	6
3(+1)	O2	-	-	3	-	3
6(+1)	O3	1	4	1	-	6
2	O4	-	2	-	-	2
	Total	1	8	4	4	17
	QH Atual	1	6	2	4	13
	Custo	1.107,740				

Quantidade	Cenário 1.9	L1	L2	L3	L4	Total
6	O1	-	2	-	4	6
3(+1)	O2	-	-	3	-	3
5	O3	1	3	1	-	5
3(+1)	O4	-	3	-	-	3
	Total	1	8	4	4	17
	QH Atual	1	6	2	4	13
	Custo	1.106,660				

Quantidade	Cenário 1.10	L1	L2	L3	L4	Total
6	O1	-	2	-	4	6
2	O2	-	-	2	-	2
6(+1)	O3	1	3	2	-	6
3(+1)	O4	-	3	-	-	3
	Total	1	8	4	4	17
	QH Atual	1	6	2	4	13
	Custo	1.127,580				

Dos cenários analisados o único em que não foi possível obter um resultado foi o com quantidade acrescida de dois ônibus do modelo O2.

Dos nove cenários acima o de menor custo foi o cenário 1.5, seguido pelo 1.9 e pelo 1.8, exatamente os cenários em que aumenta o modelo O2, o de menor custo devido a não utilização do cobrador. Já o de maior custo foi o cenário 1.3, seguido pelo 1.10 e pelo 1.4. O cenário 1.3 é o que aumenta em dois o modelo de maior custo, O3. O cenário 1.9 aumenta um o O3 e um o segundo modelo de maior custo, O4. E o cenário 1.4 é o que aumenta em dois o O4.

4.3.2 Período 2: 18:00 – 20:00 (Pico Tarde)

O parâmetro padrão utilizado no programa GAMS foi:

Figura 4.4.2: Período 2

```

SETS
I Tipo Onibus / O1*O4/
J Linhas / L1*L4/;

PARAMETERS
CAP(I) Capacidade do Onibus em Numero de Passageiros
/ O1 71
  O2 65
  O3 77
  O4 75/

NUM(I) Quantidade de Onibus
/ O1 6
  O2 2
  O3 5
  O4 2/

PASS(J) Passageiros a serem transportados em cada Linha - Pico Tarde (18:00)
/ L1 32
  L2 207
  L3 112
  L4 202/;

TABLE ALOCACAO(I,J) Matriz de Alocacao em cada Linha por Tipo de Onibus
      L1  L2  L3  L4
O1  0  1  1  1
O2  1  0  1  0
O3  0  1  1  1
O4  0  1  1  1;

```

```

TABLE CUSTO(I,J) Custo Operacional por Viagem por Tipo de Onibus
      L1      L2      L3      L4
O1    60.70   58.54   94.46   56.99
O2    50.17   48.38   78.07   47.10
O3    63.62   61.34   98.99   59.72
O4    62.49   60.26   97.24   58.66;

VARIABLES
Z DEFINE A FUNCAO OBJETIVO
X(I,J) ALOCACAO DE ONIBUS A LINHA;

INTEGER VARIABLE X;

EQUATIONS
FO      Equacao que define o custo operacional total
NONIBUS(I) Equacao que define o numero de onibus alocados
DEMANDA(J) Equação para atender a demanda da linha;

FO      .. Z =E= SUM((I,J), CUSTO (I,J)*X(I,J));
NONIBUS(I) .. SUM(J, X(I,J)) =L= NUM(I);
DEMANDA(J) .. SUM(i, CAP(I)*ALOCACAO(I,J)*X(I,J)) =G= PASS(J);

MODEL MODELO /ALL/;
SOLVE MODELO MINIMIZING Z USING MIP;

DISPLAY Z.L, X.L, X.M;

```

No período entre 18:00 e 20:00, a quantidade de ônibus disponível é suficiente para atender a demanda levando em consideração as restrições do modelo. O resultado está no quadro do Cenário 2.1:

Tabela 4.4.2.1: Resultado do período entre 18:00 e 20:00

Quantidade	Cenário 2.1	L1	L2	L3	L4	Total
6	O1	1	2	-	3	6
2	O2	-	-	2	-	2
5	O3	-	-	-	-	-
2	O4	-	1	-	-	1
	Total	1	3	2	3	9
	QH Atual	1	4	2	3	10
	Custo	565,150				

No quadro de horário atual, a L1, L3 e L4 possuem a mesma quantidade de viagens, ou ônibus, no intervalo analisado e a L2 faz uma viagem a mais do que o modelo resultou.

Para ter o número ótimo de viagens, atendendo a demanda com conforto e com o menor custo, arbitrou-se um valor alto de quantidade de ônibus e o resultado pode-se ver no Cenário 2.2.

Tabela 4.4.2.2: Novos cenários do período entre 18:00 e 20:00

Quantidade	Cenário 2.2	L1	L2	L3	L4	Total
60000	O1	-	3	-	3	6
20000	O2	1	-	2	-	3
50000	O3	-	-	-	-	-
20000	O4	-	-	-	-	-
	Total	1	3	2	3	9
	QH Atual	1	4	2	3	10
	Custo	552,900				

O resultado foi o mesmo em relação à quantidade de ônibus/viagem total por linha, o que diferenciou foi a disposição por modelo de ônibus, diminuindo o custo em mais de 2%.

O modelo de ônibus O2, por ser um modelo de menor capacidade e, além disso, por ser o motorista quem recebe o pagamento dos passageiros, sofre resistência do Poder Público e dos funcionários na sua utilização. Por isso, foi simulado o Cenário 2.3, no qual o modelo O2 só pode ser utilizado na L1, que é a linha de menor demanda.

Quantidade	Cenário 2.3	L1	L2	L3	L4	Total
6	O1	-	-	2	3	5
2	O2	1	-	-	-	1
5	O3	-	3	-	-	3
2	O4	-	-	-	-	-
	Total	1	3	2	3	9
	QH Atual	1	4	2	3	10
	Custo	594,080				

Com essa nova restrição o custo aumentou mais de 5% em relação ao cenário 2.1.

4.3.3 Período 3: 24h (Dia Inteiro)

O propósito de estudar esse período de 24 horas é analisar a oferta de viagens das linhas que atendem a cidade de Ibitité. Segue o parâmetro utilizado no GAMS:

Figura 4.4.3: Período 3

```
SETS
I Tipo Onibus / O1*O4/
J Linhas / L1*L4/;

PARAMETERS
CAP(I) Capacidade do Onibus em Numero de Passageiros
/ O1 71
  O2 65
  O3 77
  O4 75/

NUM(I) Quantidade de Onibus
/ O1 60000
  O2 20000
  O3 50000
  O4 20000/

PASS(J) Passageiros a serem transportados em cada Linha - Dia Inteiro (24h)
/ L1 234
  L2 3716
  L3 1344
  L4 2133/;

TABLE ALOCACAO(I,J) Matriz de Alocacao em cada Linha por Tipo de Onibus
      L1  L2  L3  L4
O1  1   1   1   1
O2  1   0   1   0
O3  1   1   1   1
O4  1   1   1   1;
```

```

TABLE CUSTO(I,J) Custo Operacional por Viagem por Tipo de Onibus
      L1      L2      L3      L4
O1   60.70   58.54   94.46   56.99
O2   50.17   48.38   78.07   47.10
O3   63.62   61.34   98.99   59.72
O4   62.49   60.26   97.24   58.66;

VARIABLES
Z DEFINE A FUNCAO OBJETIVO
X(I,J) ALOCACAO DE ONIBUS A LINHA;

INTEGER VARIABLE X;

EQUATIONS
FO          Equacao que define o custo operacional total
NONIBUS(I)  Equacao que define o numero de onibus alocados
DEMANDA(J)  Equação para atender a demanda da linha;

FO          .. Z =E= SUM((I,J), CUSTO (I,J)*X(I,J));
NONIBUS(I)  .. SUM(J, X(I,J)) =L= NUM(I);
DEMANDA(J)  .. SUM(i, CAP(I)*ALOCACAO(I,J)*X(I,J)) =G= PASS(J);

MODEL MODELO /ALL/;
SOLVE MODELO MINIMIZING Z USING MIP;

DISPLAY Z.L, X.L, X.M;

```

Nesse modelo não se otimiza a quantidade de ônibus e sim de viagens. Por isso no parâmetro “Quantidade de ônibus” arbitrou-se um número alto, para que se chegasse na oferta ideal. A demanda foi a média diária, dos dias úteis de Agosto de 2010. O resultado do cenário analisado foi:

Tabela 4.4.3.1: Resultado do período 24h

Quantidade	Cenário 3.1	L1	L2	L3	L4	Total
60000	O1	-	9	-	3	12
20000	O2	4	-	21	-	25
50000	O3	-	39	-	23	62
20000	O4	-	1	-	2	3
	Total	4	49	21	28	102
	QH Atual	6	40	19	31	96
	Custo	6.481,380				

Analisando o total de viagens, para que a oferta fosse adequada à demanda, precisaria de 102 viagens, ou seja, seis viagens a mais do que é realizado

atualmente. Analisando linha por linha a L1 oferta duas viagens além do necessário, mas, por ser uma linha que possui poucas viagens, diminuir viagens iria aumentar ainda mais o *headway* (intervalo entre viagens), que já é alto. A L2 é a que está mais defasada, com nove viagens a menos que o ideal. Essa superlotação já é um problema detectado pela empresa prestadora do serviço e o aumento de viagens e conseqüentemente o aumento de ônibus se fará necessário o quanto antes. Com a L3, duas viagens a menos do ideal e a L4, três viagens a mais do ideal, pode se pensar em uma troca para equilibrar a oferta e a demanda.

5 CONCLUSÃO

Com os estudos realizados, percebeu-se que o número de ônibus disponível para atender a demanda de passageiros da cidade de Ibité não é suficiente. Na faixa horária de 6 às 8 horas, faixa com a maior demanda, precisaria de no mínimo 17 ônibus, ao invés dos 15 disponíveis.

Os dados utilizados nesse estudo são de agosto de 2010 e já em novembro desse ano, a empresa prestadora do serviço de transporte, juntamente com o Poder Público, aumentou a frota para 17 veículos. E, além disso, alterou o número de viagens das linhas, chegando a um número muito parecido com o resultado do modelo matemático. A linha L1 permaneceu com as 6 viagens, a L2, que o modelo resultou no aumento de 40 viagens para 49, aumentou para 60 viagens durante o dia. A L3 permaneceu com as 19 viagens e a L4, que o modelo resultou na diminuição de 31 viagens para 28, diminuiu para 26 viagens. No total o modelo resultou em um acréscimo de 6 viagens, de 96 para 102, e a empresa acrescentou 15 viagens, totalizando 111 viagens.

Uma viagem de ônibus não é uma ciência exata. Vários fatores interferem, fatores que são difíceis de mensurar, como o trânsito, cada vez mais congestionado, o clima, problemas mecânicos. Esse estudo foi uma forma de tornar uma viagem de ônibus um pouco mais exata, mesmo que algumas variáveis não sejam consideradas. Mas, mesmo simplificando o complexo sistema de transporte público, o estudo resultou em dados importantes para que algumas atitudes sejam tomadas no intuito de melhorar o serviço prestado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS, E. A. **Otimização de Seções Retangulares de Concreto Armado Submetidas à Flexo-Compressão Oblíqua Utilizando Algoritmos Genéticos. Dissertação de Mestrado.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

BODMER, M., PORTO, D.R.M. **Marketing nos Serviços de Transportes Coletivo: Uma Proposta Estratégica.** In: Transporte em Tempos de Reforma, LGE Editora, 2000.

FERNANDES, F., BODMER, M. **O Papel do Marketing na Gestão das Operadoras de Transporte de Pessoas.** Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte ANPET, Rio de Janeiro, 1997.

HADLEY, G. **Programação linear.** Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1982.

HAFTKA, R. T.; GURDAL, Z. **Elements of Structural Optimization.** 3rd. rev. and expanded ed., with corrections. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993.

HOLTZ, G. C. C. **Traçado Automático de Envoltórias de Esforço em Estruturas Planas Utilizando um Algoritmo Evolucionário. Dissertação de Mestrado.** PUC-RIO, Rio de Janeiro, 2005.

MARTINS, E., ARAGÃO, J. **Marketing como Instrumento Auxiliar no Planejamento e Gerenciamento do Transporte Público.** Congresso da ANTP, 1997.

NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS **Transporte Público Urbano: Crise e Oportunidades.** NTU, Brasília, 1998.

NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS **Transporte Informal: Riscos de Não Encarar o Problema de Frente.** NTU, Brasília, 1997.

OLIVIERI, B. P. **Otimização do Projeto de Pontes Protendidas Pré-moldadas pelo método dos Algoritmos Genéticos. Dissertação de Mestrado.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

ORRICO FILHO, R. D. E OUTROS **Ônibus Urbano: Regulamentação e Mercados.** Ed. LGE, Brasília, 1996.

SODRÉ, U. **Modelos Matemáticos.** Apostila. UEL, Londrina, 2007.