

Aplicação de técnicas de otimização no problema do roteamento do transporte coletivo por ônibus: estudos preliminares e proposta de aplicação na cidade de Bambuí-MG

**Débora Cristina de Souza Rodrigues¹; Laureilton José Almeida Borges¹;
Nathan José Mota Garcia¹; João Flávio de Freitas Almeida²; Gabriel da Silva³**

¹ Estudante de Engenharia de Produção, Bolsista de Iniciação Científica (PIBIC) - Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) *campus* Bambuí. Rod. Bambuí/Medeiros Km 5. CEP: 38900-000. Bambuí-MG. ² Professor Coorientador – IFMG *campus* Bambuí; ³ Professor Orientador – IFMG *campus* Bambuí.

RESUMO: O transporte coletivo urbano tem se mostrado uma opção largamente adotada por pessoas que buscam atender suas necessidades de deslocamento. Problemas na qualidade da oferta dos serviços de transporte coletivo se destacam em cidades de pequeno porte devido, entre outros fatores, a falta de elaboração de planos de transporte e/ou sua conclusão. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo matemático-computacional que permita a definição de rotas, pontos de embarque/desembarque e horários de linhas de ônibus para o transporte coletivo de passageiros em cidades de pequeno porte, tendo como campo de estudo a cidade de Bambuí-MG. Inicialmente, realizou-se uma pesquisa em busca de trabalhos similares ao que está sendo desenvolvido, com a finalidade de identificar a melhor técnica de roteamento com janela de tempo. A alternativa encontrada foi desenvolver um modelo matemático computacional baseando-se em técnicas de programação linear inteira mista. Para implementação do modelo utilizado, foi escolhido o solver GLPK e a modelagem por intermédio da interface gráfica Gusek, com a utilização da linguagem computacional AMPL. Posteriormente foi elaborado, através da ferramenta online *Google Forms*, um questionário que será aplicado com o intuito de obter dados relevantes para a elaboração deste projeto. O presente artigo apresenta os resultados preliminares do trabalho, uma vez que o trabalho ainda encontra-se em desenvolvimento. Acredita-se que os resultados finais obtidos poderão apoiar positivamente as tomadas de decisões referentes a implantação ou modificação do sistema de transporte coletivo da cidade em estudo.

Palavras chave: Programação Linear Inteira Mista, Transporte Coletivo por Ônibus, Planejamento de Linhas.

INTRODUÇÃO

O transporte coletivo urbano (TCU) é uma opção largamente adotada por aqueles que buscam atender suas necessidades de deslocamento, seja por motivos de lazer, trabalho ou estudo, a um baixo custo se comparado a outros meios de transporte. O TCU realizado por ônibus se destaca como o mais difundido no mundo, devido a sua flexibilidade, simplicidade, tecnologia, facilidade de

VIII Semana de Ciência e Tecnologia IFMG - Campus Bambuí
VIII Jornada Científica

instalação de serviços, menores custos, entre outros benefícios. Em cidades de pequeno e médio porte, o ônibus é o principal meio de transporte coletivo fornecido (BALASSIANO *apud* SANTOS, 2012).

Entretanto, os usuários de transportes coletivos encontram diversas dificuldades. Segundo Neto (2001), entre as principais deficiências deste tipo de transporte está o tempo elevado de viagem, sendo este a espera, o período dentro dos veículos e os transbordos ou o tempo consumido nos deslocamentos para acessar o sistema de transportes; e as taxas de ocupação excessivas nos veículos, quando a oferta não é ajustada adequadamente para atender as exigências da demanda.

O problema na qualidade da oferta dos serviços de transporte coletivo se agrava ainda mais em cidades de pequeno porte devido, entre outros fatores, a falta de elaboração de planos de transporte e/ou sua conclusão. Segundo a Pesquisa de Informações Básicas Municipais de 2012, divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cidades de pequeno porte (até 100.000 habitantes, segundo IBGE) estão entre as que possuem menor porcentagem de planos de transporte elaborados e concluídos.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo matemático-computacional que possibilite definir rotas, pontos de embarque/desembarque e horários das linhas de ônibus para o transporte coletivo de passageiros em cidades de pequeno porte, visando maximizar o atendimento de usuários com um custo mínimo. O campo de estudo foi a cidade de Bambuí-MG.

MATERIAL E MÉTODOS

No desenvolvimento deste trabalho estão sendo utilizadas as dependências do Laboratório de Sistemas Computacionais – LSC do Grupo de Pesquisa em Sistemas Computacionais – GPSisCom do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) – Campus Bambuí, assim como os equipamentos disponíveis neste ambiente.

A cidade de Bambuí-MG foi escolhida como campo de estudo, considerando além da malha viária da área urbana, duas regiões importantes localizadas na área rural. A primeira é a região onde está localizada a Casa de Saúde São Francisco de Assis, um Hospital da FHEMIG e antigo sanatório de Bambuí. A segunda é a região que pertence ao Campus Bambuí do IFMG. Estas áreas deverão ser contempladas no estudo uma vez que grande parte da população precisa se deslocar diariamente para estas para trabalhar, estudar ou para a realização de tratamentos médicos.

Realizou-se inicialmente uma pesquisa sobre trabalhos científicos similares, em busca de identificar qual método poderia ser utilizado no desenvolvimento deste projeto e quais os dados que seriam necessários coletar para alimentar o mesmo.

No trabalho de Amoroso (2010), foi observada uma semelhança considerável com o problema analisado nesta pesquisa, sendo utilizado como referência do tipo de modelo matemático-

VIII Semana de Ciência e Tecnologia IFMG - Campus Bambuí
VIII Jornada Científica

computacional a ser utilizado inicialmente, e também das variáveis de decisão, sendo estas, rotas, frequência de serviços e capacidade de cada linha de ônibus.

O trabalho desenvolvido por Wu (2005), também proporcionou contribuições importantes, principalmente pelo fato da função objetivo de seu modelo ser maximizar o atendimento dos usuários, porém sem resultar no aumento do tempo de espera dos mesmos.

A alternativa encontrada foi desenvolver o modelo matemático computacional baseando-se em técnicas de programação Linear Inteira Mista (PLIM), que segundo Vallim Filho *apud* Mapa (2012), trata-se do método matemático mais empregado para resolver problemas de localização, tendendo a fornecer uma solução ótima. Como o problema é por demais complexo, optou-se pela elaboração de um modelo inicial simplificado que gradualmente seria incrementado.

A modelagem matemático-computacional será feita por intermédio da interface gráfica Gusek, definido por Bettoni (2010) como “um ambiente de modelagem matemática PL/PLIM (programação linear e programação linear inteira mista) customizado para uso do solver GLPK (GNU *Linear Programming Kit*).” Segundo Makhorin (2012), o solver GLPK se trata de um kit de programação linear simples e de código aberto. A linguagem computacional do solver é a AMPL (*A Mathematical Programming Language*), caracterizada por Camponogara (S.d), “como linguagem de alto nível para implementação de modelos de programação matemática e que ainda possibilita que o modelo seja especificado separadamente dos dados”.

Técnicas de Pesquisa Operacional específicas para o tratamento de Modelo de Redes, tais como a Teoria dos Grafos, serão usadas também na criação do modelo matemático de otimização. Serão utilizados grafos orientados e ponderados para representar a malha viária da cidade em estudo, considerando os sentidos das vias. O banco de dados que possibilitara a construção destes grafos será disponibilizado por um projeto de geoprocessamento da cidade de Bambuí que está sendo desenvolvido paralelamente a este.

O modelo matemático de otimização elaborado deve passar por um procedimento experimental com o intuito de identificar possíveis falhas que o mesmo possa ter e, a partir disso, modificá-lo para que os problemas sejam sanados. Além disso, é necessário que o modelo seja refinado com o objetivo de simplificar e aperfeiçoar o mesmo.

Após o refinamento do modelo deve-se elaborar o relatório final contendo informações sobre as rotas, intervalos de tempo, os pontos de embarque/desembarque e demais dados necessários para a definição do transporte coletivo urbano com ônibus. Pretende-se, através de uma reunião, apresentar esses resultados obtidos pelo modelo matemático aos gestores, prestadores de serviço e comunidade para apreciação.

VIII Semana de Ciência e Tecnologia IFMG - Campus Bambuí
VIII Jornada Científica

Para identificar a real demanda por transporte coletivo pelos usuários, foi elaborado um questionário com a utilização da ferramenta *Google Forms*, na plataforma online *Google Docs*. Os dados a serem coletados pelo questionário também fornecerão informações importantes para a elaboração do modelo matemático, como: localização dos pontos de demanda; principal meio de transporte utilizado; frequência de utilização diária e semanal do transporte coletivo e qual a distância entre os pontos de embarque e desembarque é considerada ideal pelos usuários.

De acordo com recomendações de métodos estatísticos, a coleta de dados deve ser realizada em 20% dos habitantes da cidade. Entretanto, nem todos os moradores utilizam o transporte coletivo, o que reduz esta porcentagem para aproximadamente 5% (cinco por cento) da população residente em Bambuí-MG. Sendo assim, os questionários serão aplicados aleatoriamente a 1.000 habitantes, distribuídos para 500 no centro da cidade e 500 espalhados pelos demais bairros existentes na cidade em estudo, ponderados pela densidade demográfica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

É importante destacar que os resultados obtidos até o momento são preliminares e iniciais.

Foram realizadas reuniões com a empresa concessionária do transporte coletivo por ônibus e com a Prefeitura Municipal, a fim de apresentar a proposta e solicitar os dados necessários para a alimentação do modelo matemático, os quais ainda não foram fornecidos. Caso os mesmos não sejam disponibilizados, será necessário o levantamento em campo, o que poderá alterar, consideravelmente, o cronograma de trabalho.

A construção do modelo matemático está em fase de desenvolvimento. Uma primeira versão simplificada esta sendo modelada, com base nos trabalhos de Amoroso (2010) e Wu (2005).

Os dados necessários para a criação do Grafo representativo da malha viária da região em estudo serão obtidos a partir da base de dados geográfica produzida em outro trabalho também desenvolvido no GPSisCom. Como ambos os projetos estão sendo desenvolvidos paralelamente, os dados de entrada do modelo matemático precisam estar totalmente determinados para que o projeto de geoprocessamento possa fornecê-los.

A coleta de dados através da aplicação do questionário à população foi postergada até que a etapa de elaboração do modelo matemático inicial esteja finalizada. Esta medida fez-se necessária para evitar que, caso alguma informação relevante seja identificada durante a construção do modelo matemático, esta possa ser acrescentada e levantada no questionário.

VIII Semana de Ciência e Tecnologia IFMG - Campus Bambuí
VIII Jornada Científica

CONCLUSÕES

Acredita-se que os resultados finais da presente proposta de trabalho poderão apoiar positivamente as tomadas de decisões referentes a implantação ou modificação do sistema de transporte coletivo.

Ao final do trabalho, os resultados obtidos serão disponibilizados à Prefeitura da cidade de Bambuí e à empresa concessionária, permitindo que estas entidades os utilizem para auxiliá-las em seu planejamento, análise e tomadas de decisões referentes ao TCU por ônibus.

Ademais, o modelo matemático-computacional poderá ser aplicado em outras cidades, beneficiando um número maior de usuários de transporte coletivo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFMG Campus Bambuí pela oferta das bolsas PIBIC e pela infraestrutura para o desenvolvimento deste trabalho. Ao GPSisCom pela infraestrutura e contribuições de seus membros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMOROSO, Salvatore *et al.* **A demand-based methodology for planning the bus network of a small or médium town.** 2010.

BETTONI, Luiz Marcelo Michelloti. **Modelos PLIM para otimização de circuitos da rede de distribuição secundária de energia elétrica.** 2011. 152p. Dissertação (Mestrado em Ciências: Área de Engenharia de Automação e Sistemas) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial. Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Paraná, 2011.

CAMPONOGARA, Eduardo. **AMPL: Métodos de otimização.** Santa Catarina. Disponível em: <<http://user.das.ufsc.br/~camponog/Disciplinas/DAS-9011/Slides/ls9-ampl.pdf>>. Acesso em 01 de dezembro de 2015.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Perfil dos Municípios Brasileiros 2012** (Munic). Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2012/default.shtm>>. Acesso em 05 de outubro de 2014.

MAKHORIN, Andrew. **GLPK: GNU linear programming kit.** Moscou: Moscou Aviation Institute, 2012. Vol 2.1. Disponível em: <<http://www.gnu.org/software/glpk/>>. Acesso em 01 de dezembro de 2015.

MAPA, Sílvia Maria Santana; LIMA, R. S. Uso Combinado de sistemas de informações geográficas para transportes e programação linear inteira mista em problemas de localização de instalações. **Revista Gestão e Produção, São Carlos**, v. 19, n. 1, p. 119-136, 2012.

NETO, W. A. P. **Modelo multicritério de avaliação de desempenho operacional do transporte coletivo por ônibus no município de fortaleza.** 2001. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2001.

SANTOS, J. P. **Transporte coletivo publico urbano na cidade de Santiago-RS: estudo da percepção dos usuários quanto a acessibilidade e nível do serviço prestado.** 2012. 141f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Santiago. 2012.

WU, Chagshan; MURRAY, Alan T. Optimizing public transit quality and system access: the multiple-route, maximal covering/shortest path problem. **Environment and Planning B: Planning and Design**, v. 32, n. 2, p. 163-178, 2005.