

Roteirização dinâmica de veículos combinada à Previsão do comportamento do tráfego urbano utilizando uma rede *neuro fuzzy* (22 Janeiro 2010)

R. P. Ferreira, C. Affonso, R. J. Sassi, membro *IEEE*

Resumo— O desafio de conquistar e manter clientes impulsiona o desenvolvimento de novas formas de atender aos anseios de consumo cada vez mais tendendo à micro segmentação de produto e mercado. O objetivo deste trabalho é subsidiar o desenvolvimento de um sistema de roteirização dinâmico apoiado pela previsão do comportamento do tráfego na região urbana de São Paulo utilizando uma rede *neuro fuzzy* treinada com ocorrências notáveis verificadas no tráfego urbano na Zona de Máxima Restrição de Circulação (ZMRC) da cidade de São Paulo. A metodologia do trabalho consiste no estudo da cidade de São Paulo, mais precisamente na (ZMRC), região metropolitana de grande concentração de comércio e empresas. Foi realizado um levantamento diário sobre o comportamento do trânsito cotidiano da grande São Paulo. Este trabalho inicial apresentará o resultado parcial da utilização da rede *neuro fuzzy* na previsão do comportamento do tráfego.

Palavras chave— Previsão do Comportamento do Tráfego; Rede *Neuro Fuzzy*; Roteirização de veículos.

I. INTRODUÇÃO

Os novos hábitos de consumo dos brasileiros trouxeram ao mercado produtos com ciclo de vida mais curto, conseqüentemente volumes crescentes de itens fora de uso e sem destino certo após o uso [1]. As vendas pela *internet* ganharam espaço e as reduções dos estoques aumentaram a frequência das entregas, e a responsabilidade da entrega em prazos cada vez mais justos, obedecendo a janelas de tempo, geralmente rígidas na distribuição e flexíveis na coleta e exigem soluções inteligentes que com o uso das novas tecnologias disponíveis no mercado apresentem formas alternativas de cumprir a missão de cruzar a região metropolitana e realizar o papel logístico de transportar os mais variados produtos e entregá-los dentro do prazo acordado com os clientes. O cenário implica em maior nível de eficácia na logística do transporte terrestre urbano, nas regiões urbanas de São Paulo a exigência por níveis de serviço regulares e confiáveis tornam a competitividade bastante acirrada entre as *couriers*. A roteirização eficiente de veículos aparece como uma oportunidade de atender adequadamente os anseios dos clientes. A roteirização e programação de veículos tendem a receber um enfoque destacado, observado as exigências do mercado e do cliente final dentro da cadeia de suprimentos e logística de distribuição. Por isso verifica-se a preocupação em criar ferramentas que otimizem o tempo de utilização de veículos, as restrições de circulação e de capacidade dos

veículos reduzem a produtividade, dessa forma os veículos quando em operação livre devem ter seu potencial maximizado.

II. FUNDAMENTOS BÁSICOS DA ROTEIRIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE VEÍCULOS

Segundo Bodin et al., [2], os problemas de roteirização podem ser classificados inicialmente em três grupos principais:

a) Problemas de roteirização pura de veículos (PRV): neste tipo de problema as condicionantes temporais não são consideradas na geração dos roteiros para coleta e/ou entrega, sendo que em alguns casos pode-se considerar a restrição de comprimento máximo do arco. O problema de roteirização busca definir a seqüência de pontos de parada que cada veículo deve seguir buscando a minimização de custos do transporte;

b) Problemas de programação de veículos e tripulações (PRVT): tipo de problema de roteirização onde as condicionantes temporais devem ser consideradas, ou seja, as restrições adicionais relacionadas aos horários em que as atividades devem ser executadas devem ser consideradas no tratamento do problema;

c) Problemas combinados de roteirização e programação: é uma extensão do problema da roteirização do veículo, onde restrições realistas são incluídas, restrições estas tais como janelas de tempo, precedência de tarefas e alocação da tripulação.

O transporte representa normalmente entre um e dois terços dos custos logísticos totais; por isso mesmo, aumentar a eficiência por meio da máxima utilização dos equipamentos e pessoal de transporte é uma das maiores preocupações do setor. O tempo que as mercadorias passam em trânsito tem reflexos no número de fretes que podem ser feitos por veículo num determinado período de tempo e nos custos integrais do transporte para todos os embarques. Reduzir os custos do transporte e melhorar os serviços ao cliente, descobrir os melhores roteiros para os veículos ao longo de uma rede a fim de minimizar os tempos e as distâncias constituem problemas muito frequentes de tomada de decisão [3].

Os algoritmos de roteirização representam o nível operacional do sistema proposto, conforme será visto na seção VI.

III. A REDE *NEURO FUZZY* PARA PREVISÃO DO COMPORTAMENTO DE TRÁFEGO URBANO

Atualmente, existe grande interesse nos modelos de redes neurais para resolver problemas não convencionais, nos últimos anos às redes neurais artificiais têm surgido como uma alternativa viável e com inúmeras aplicações. Uma rede *neuro fuzzy* foi desenvolvida utilizando MLP (*Multilayer perceptrons*) arquitetura com *backpropagation* para o aprendizado do algoritmo. Foram colhidos dados de ocorrências notáveis do tráfego na região metropolitana de São Paulo do dia 15 de Dezembro de 2009 com o objetivo de obter o impacto dessas ocorrências na fluidez do tráfego através de ocorrências relevantes sobre o comportamento do tráfego, esses parâmetros foram convertidos através da função de membro específico em conjuntos *Fuzzy*. A tabela 1 apresenta os tipos de ocorrências registradas que foram utilizadas na rede *neuro fuzzy* (50 épocas).

Tabela 1

Ocorrências Notáveis	
1.	Acidente com vítima
2.	Alagamento
3.	Atropelamento
4.	Caminhão quebrado
5.	Defeito na rede de trólebus
6.	Falta de energia elétrica
7.	Incêndio
8.	Incêndio em Veículos
9.	Manifestações
10.	Ocorrência envolvendo carga
11.	Ocorrência envolvendo carga perigosa
12.	Ônibus imobilizado na via
13.	Queda de árvore
14.	Semáforo apagado
15.	Semáforo embandeirado
16.	Veículo com excesso

Fonte: Adaptado de CET, 2009

A figura 1 ilustra os resultados reais do comportamento do tráfego, a linha azul representa o comportamento real em 15 de Dezembro de 2009, a linha verde representa a média inferior e a linha vermelha representa a média superior por horários. O gráfico de lentidão apresenta o índice de lentidão do trânsito registrado a cada 30 minutos, de segunda à sexta, no horário das 7h às 20h, bem como as linhas que indicam o limite inferior e superior [4].

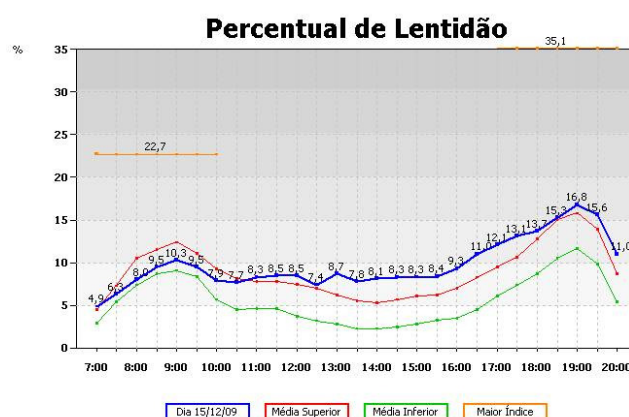
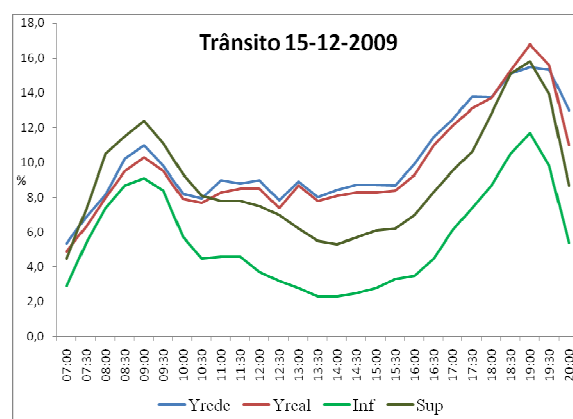


Fig. 1. Comportamento observado em 15.12.2009. Fonte: CET, 2009

A figura 2 ilustra os resultados obtidos pela rede *neuro fuzzy* comparados aos colhidos pela CET em 15 de Dezembro de 2009.

Fig. 2. Comportamento calculado pela rede *neuro fuzzy*. Fonte: Autores

Com os resultados iniciais verifica-se que a rede obteve um resultado razoável do problema proposto, podendo auxiliar na tomada de decisão quanto as janelas de tempo que devem ser evitadas e que apresentam o comportamento acima da normalidade.

A previsão do comportamento de tráfego urbano em São Paulo representa o nível estratégico da roteirização, conforme será visto na seção VI.

IV. A ROTEIRIZAÇÃO DINÂMICA

Na cidade de São Paulo basta um veículo parar em uma via movimentada para produzir imediata diminuição dos veículos dessa via. Nas variações do fluxo de trânsito em ruas perpendiculares ou paralelas, poderemos observar o caos momentâneo. Em cidades sem planejamento urbano, o caos pode ser até permanente [5]. As figuras 3 e 4 a seguir ilustram de forma singela o desvio de vias, congestionadas ou interrompidas, proposto pelo sistema dinâmico de roteirização. A figura 3 ilustra um pequeno bolsão de

distribuição, com a rota inicial oferecida pelo roteirizador, considerando o caminho mínimo do trajeto ou o caminho mais rápido. O ponto verde representa a origem do veículo e o ponto azul o destino do veículo [6].



Fig. 3. Rota inicial. Fonte: Ferreira, 2009

A figura 4 ilustra o veículo realizando o deslocamento conforme rota inicial e uma ocorrência notável gera a interrupção do logradouro onde o veículo trafegaria, assim que detectada a ocorrência é informada à central de processamento, de imediato as informações são avaliadas e repassadas para o GPS que altera o roteiro conforme a ilustração a seguir [6].



Fig. 4. Rota alterada. Fonte: Ferreira, 2009

A roteirização dinâmica representa o nível tático da roteirização, conforme será visto na seção VI.

V. A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC) NA ROTEIRIZAÇÃO

Segundo Santos [7], as ferramentas de Inteligência Artificial (IA) surgem como alternativas de apoio ou substituição dos métodos tradicionais de processamento e tomada de decisão em transportes. A tecnologia de transmissão de informações de trânsito *Traffic Message Channel* (TMC) possibilita a comunicação de eventos relevantes ao percurso escolhido, são recebidos por ondas de rádio FM-RDS [8] e permitem à comunicação embarcada com os roteirizadores e aparelhos de GPS, essa condição aumenta significativamente o nível de serviço e a rapidez na transmissão de informações de tráfego. Os satélites de comunicação do tipo Geoestacionários contribuem de maneira importante na transmissão de dados em tempo real. O sistema de navegação por GPS nada mais é do que um sistema de rádio-navegação através do uso de satélites, que possui a capacidade de fornecer coordenadas precisas de posicionamento tridimensional

e informações de navegação e tempo, para qualquer objeto que possua um transmissor GPS instalado. Verifica-se, dessa forma, que inúmeras são as possibilidades de pesquisa que poderão ser exploradas na roteirização, com o auxílio do GPS [9].

Para Bodin [10], a mais significativa mudança com relação aos sistemas para roteirização e programação de veículos ocorreu no ambiente computacional juntamente com os avanços alcançados nas áreas de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). A aplicação da tecnologia da geoinformação ou Sistema de Informação Geográfica (SIG) combinados a roteirização também tem contribuído para aumentar o nível de serviço, permitindo a visualização dos pontos de atendimento a serem visitados e a malha viária por onde trafegam os veículos.

VI. A HIERARQUIA DA ROTEIRIZAÇÃO

Através dos três níveis hierárquicos de roteirização é possível considerar não apenas os fatores básicos de roteirização (algoritmos de roteirização) como também os fatores externos, ocorrências relevantes, que influenciam diretamente nos níveis de serviço nas grandes cidades (roteirização dinâmica). A previsão do tráfego representa o nível estratégico da roteirização. A figura 5 ilustra a hierarquia proposta para a roteirização eficiente apoiada pelos três níveis.

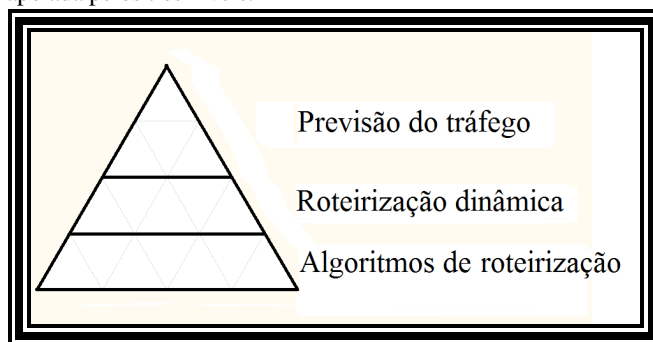


Fig. 5. Hierarquia de roteirização. Fonte: Autores

VII. CONCLUSÃO

A previsão do comportamento do tráfego pode ser uma excelente ferramenta para auxiliar a tomada de decisão que antecede a roteirização de forma a viabilizar as etapas de distribuição física com mais efetividade e produtividade. Com a possibilidade de prever as oscilações da fluidez do tráfego é possível escolher as melhores janelas de atendimento de maneira a evitar horários em que a previsão do tráfego aponte para níveis de lentidão que comprometam o atendimento. A roteirização dinâmica combinada a previsão do tráfego pode aumentar significativamente a eficácia da roteirização nas grandes cidades. Os roteiros estáticos não permitem aperfeiçoar todo o roteiro do veículo de maneira que todos os clientes sejam atendidos dentro da janela de tempo estimada. Os desvios inteligentes visam à redução do tempo em trânsito, mesmo quando a distância percorrida for um pouco maior, existindo ainda a economia de tempo e combustível, conclui-

se que as novas técnicas e tecnologias da informação e comunicação são decisivas para a criação de alternativas inovadoras de roteirização. Pretende-se dar continuidade com esse trabalho inicial e parcial com outras amostras de dados coletadas em dias diferentes da semana, em meses diferentes e com dias atípicos da cidade de São Paulo para obter novos resultados utilizando a rede *neuro fuzzy*. A roteirização dinâmica também será estudada em conjunto visando à possível integração dos três níveis de roteirização conforme discutido brevemente no trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] *TODAY Logistics & Supply Chain*. São Paulo: Cecilia Borges, Ano III, n. 38, 2009.
- [2] BODIN, L.D.; B. GOLDEN; A. ASSAD E M. BALL. *Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art*. *Computers and Operations Research*, vol.10, n.2, 1983.
- [3] BALLOU, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 616 p.
- [4] CET - Companhia de Engenharia de Tráfego. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br> Acesso em: 15 Dez. 2009.
- [5] PENA, F. Biografias em fractais: múltiplas identidades em redes flexíveis e inesgotáveis. *Revista Fronteiras – estudos midiáticos*, Vol. VI n. 1, p. 82 - jan/jun. 2004.
- [6] FERREIRA, R. P.; SASSI, R. J. Roteirização Inteligente: Uma Ferramenta para o Aprimoramento do Nível de Serviço de Distribuição e Coleta. XVI Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru/ SP, 2009.
- [7] SANTOS, A. V. N.; FELIX, L. B.; VIEIRA, J. G. V. Estudo da logística de distribuição física de um laticínio utilizando lógica *fuzzy*. V ENCONTRO MINEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2009.
- [8] LOGWEB - Serviço Indica mostra situação do trânsito aos motoristas de São Paulo. n. 89, 2009.
- [9] PIMENTA, D. J. Algoritmo de Otimização para o Problema de Roteamento de Veículos no Transporte Conjunto de Cargas e de Passageiros. Belo Horizonte, 2001. 68 p.; Dissertação – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.
- [10] BODIN, L.D. *Twenty years of routing and scheduling*. *Operations Research*, n. 38(4), 571-579, 1990.

Ricardo Pinto Ferreira: Técnico Operacional (2003), bacharel em Administração de Empresas (2005), MBA em Logística Empresarial e *Supply Chain* (2007), MBA em Tecnologia da Informação (2009), Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Nove de Julho.

Carlos Affonso: Possui graduação em Escola de Engenharia de São Carlos pela Universidade de São Paulo (1995). Atualmente é engenheiro de materiais (Volkswagen do Brasil). Atuando principalmente nos seguintes temas: indústria automotiva, acabamento superficial e polímeros e elastômeros. Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Nove de Julho.

Renato José Sassi: bacharel em Ciências Econômicas pela Faculdade de Economia Finanças e Administração de São Paulo (1987), especialista (pós-graduação Lato Sensu) em Administração de Empresas (área de concentração Análise de Sistemas) pela Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado (1988), especialista (pós-graduação Lato Sensu) em Didática do Ensino Superior pelo Centro Universitário Sant'anna (1996), mestre em Administração de Empresas (Gestão de Negócios) pelo Centro Universitário Sant'Anna (1999) e doutor em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica (POLI) da Universidade de São Paulo (2006). Atualmente é pesquisador associado do Grupo de Inteligência Computacional, Modelagem e Neurocomputação (ICONE) do Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), docente e pesquisador do Programa de Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho (UNINOVE). Membro IEEE.