ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS EM OPERAÇÕES MILK-RUN INTEGRADAS EM TEMPO REAL COM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO SOBRE TRÁFEGO

Jaime Andrés Cardona Arias
Giset Natalia Montoya Moreno
Orlando Fontes Lima Jr
Antonio G. N. Novaes
Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

RESUMO
Níveis instáveis de congestionamento em redes viárias aumentam o tempo de deslocamento dos veículos, tornando necessárias alternativas que agilizem as operações logísticas de fornecimento. Em prol desse intuito, atuam os esquemas *milk-run* dinâmicos. Em condições regulares e homogêneas de tráfego, o operador logístico prevê as durações dos deslocamentos pela comparação dos períodos do dia, avaliando, por exemplo, as horas de maior tráfego em determinadas áreas em contraposição aos momentos de volumes regulares. Por sua vez, quando um sistema de informações em tempo real de tráfego não for disponível, deve-se recorrer a métodos menos sofisticados para identificar os fatores exógenos capazes de afetar o tráfego e de mudar a velocidade padrão do caminhão, como condições climáticas extremas entre outras. Assim, se busca desenvolver um modelo de roteirização de veículos que se integra em tempo real com sistemas de informação sobre o tráfego.

1. PROPOSTA DE PESQUISA

Um sistema logístico envolve o transporte e a armazenagem de materiais ao longo da cadeia de suprimentos (Sadjadi, Jafari e Amini, 2009). Entre esses sistemas, encontra-se o *milk-run*, o qual se inspirou no sistema tradicional de coleta rural de leite onde um caminhão transporta recipientes com leite desde a porta dos criadores de gado leiteiro até as usinas fabricantes de produtos alimentícios (You e Jiao, 2014). No contexto industrial, um veículo parte da empresa central com contêineres vazios para efetuar visitas de coleta num grupo de fornecedores, dentro de um determinado período de tempo, seguindo um roteiro previamente estabelecido. Depois de completar as visitas de coleta, o veículo retorna ao ponto de partida com os componentes obtidos, entregando-os na linha de produção da montadora.

Nas operações *milk-run*, os padrões tradicionais de recebimento, inspeção e armazenamento são substituídos por acordos comerciais do tipo c*ommit-to-delivery*, onde os fornecedores se comprometem a entregar os materiais dentro dos prazos acordados (Novaes *et al.*, 2017). No entanto, muitas vezes esses acordos não são cumpridos devido a congestionamentos, que atrasam a chegada dos veículos dentro do prazo às instalações da manufatureira OEM (*Original Equipment Manufacturer*). Sendo que, quando os acordos não são cumpridos, a manufatureira OEM costuma aplicar penalidades monetárias ao operador logístico. Os níveis instáveis de congestionamento nas redes rodoviárias aumentam a variabilidade do tempo de viagem dos veículos, tornando, assim, necessário adotar um cenário *milk-run* dinâmico nas operações de fornecimento logístico. Baseando-se no problema descrito, o objetivo deste projeto consiste em desenvolver um modelo de roteirização de veículos em operações *milk-run* que se integram em tempo real com sistemas de informação sobre o tráfego.

O estado atual e a evolução das tecnologias da informação e comunicação caracterizam-se pelos avanços nas técnicas sem fio, pela alta capacidade de processamento e pelo

armazenamento e comunicação em redes. Graças aos avanços tecnológicos, aumenta-se o interesse no desenho, no desenvolvimento e na implantação de redes veiculares para aplicativos emergentes (Wan et al., 2014).

Estudos feitos por Fleischmann et al. (2004) e, recentemente, Güner et al. (2017) consideraram o uso de informação online dos tempos de deslocamento, mediante algoritmos de planejamento, para determinar dinamicamente o melhor roteiro numa rede rodoviária, considerando o caminho mais curto entre pontos ao longo do roteiro. Güner et al. (2017), inclusive, aplicou dados reais do tráfego em um estudo de caso no sudeste de Michigan, EUA. Mais especificamente, nessa pesquisa foi realizada a cobertura de uma rede rodoviária na área metropolitana de Detroit, em uma rede com 140 nós e um total de 492 arcos. Além disso, na análise foram estudados 66 dias úteis em 2009, considerando 24 horas por dia. As velocidades, por sua vez, foram analisadas em intervalos de 5 minutos. Como resultado desses avanços, é possível que, no futuro, informações em tempo real de dados do tráfego estejam disponíveis em repositórios públicos na nuvem, ou que sejam fornecidas por organizações privadas (por exemplo, Google), o que permitirá uma administração inteligente deste problema. No caso do Cyber-Physical Systems (CPS), há o direcionamento para uma nova revolução no campo de TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação), que apresenta como resultado específico o fornecimento de componentes físicos / objetos capazes de integrar a dinâmica dos processos físicos com àquela dos softwares e da comunicação. Segundo Wan et al. (2013), os CPS estão cada vez mais compostos por serviços e aplicativos implantados em uma variedade de tipologias de comunicação, plataformas de computação e dispositivos de detecção e ação. Isso leva a uma tendência de crescimento e de mudanças nas redes Vehicular Cyber-Physical Systems (VCPS). A Figura 1 mostra a arquitetura conceitual do VCPS suportado por nuvens.

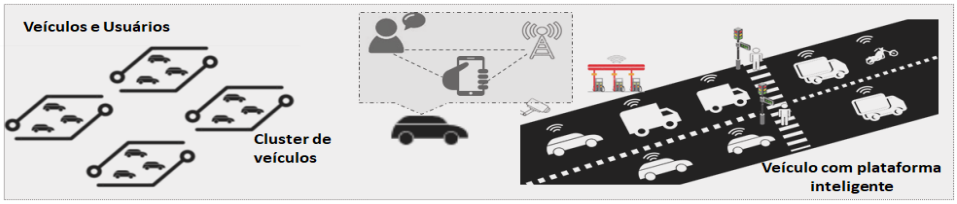

Figura 1: Arquitetura conceitual do VCPS.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Assim como o *milk run* estático é uma extensão do Problema de Roteirização de Veículos (VRP), pode-se dizer que o *milk run* dinâmico é uma extensão do Problema Dinâmico de Roteirização de Veículos (DVRP). Além disso, o caráter dinâmico é comum ao problema de fornecimento, pois, após o início da jornada, ocorrerem situações como novas demandas, atrasos de fornecedores e congestionamentos, que obrigam ou a reformulação dos roteiros ou o retorno do veículo à manufatureira, a fim de que os prazos de entrega sejam cumpridos (Novaes et al., 2017). Neste sentido, o *milk run* é dinâmico quando o caminhão que faz as visitas de coleta aos fornecedores inicia o percurso seguindo um roteiro estabelecido no início da jornada, no entanto, conforme completa as tarefas de coleta ao longo do caminho, ou altera a ordem de visitas aos fornecedores ou retorna à indústria OEM por causa de anomalias que dificultam a coleta de componentes. Nota-se, ainda, que o DVRP tem como principal característica a resposta eficiente por meio de rotas alternativas às situações cotidianas que dificultam a coleta e a distribuição de materiais. No MR dinâmico, depois de atender um

cliente ou fornecedor nas suas instalações, é necessário fazer uso de métodos que permitam determinar se: (i) a sequência de visitas programadas no início da jornada continua igual e, portanto, o veículo pode visitar o próximo cliente do roteiro; (ii) há mudanças na sequência de visitas por causa de congestionamentos veiculares, portanto, deve-se ou visitar outro cliente ou retornar a indústria OEM. A seguir, na figura 1 é apresentado um sistema de fornecimento *milk run* dinâmico, no qual as linhas descontínuas indicam mudanças no roteiro.

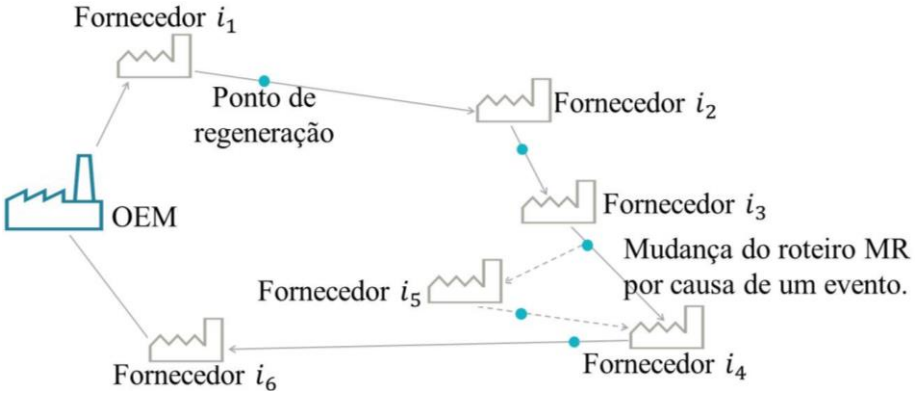

Figura 2: *Milk-run* dinâmico

Para a implantação de sistemas dinâmicos de roteirização de veículos, como o *milk run* dinâmico, é necessário ter equipado os veículos com computadores a bordo e com dispositivos que permitam a telecomunicação entre os atores do sistema. Aliás, o acelerado avanço tecnológico dos últimos anos foi um dos principais fatores que motivaram o desenvolvimento de problemas dinâmicos na roteirização de veículos (Larsen, Madsen e Solomon, 2002). No entanto, apesar da existência de uma vasta literatura sobre o DVRP, poucos modelos *milk run* foram abordados dinamicamente e considerando problemas de congestionamento. Dentre aqueles que optaram por essa vertente de roteirização, encontram-se os apresentados no quadro 1 a seguir:

Tabela 1: Modelos *milk-run* dinâmicos

Modelo	Abordagem	Autores
Modelo *milk run* dinâmico na coleta de peças numa cadeia de suprimentos tipo OEM em áreas urbanas congestionadas	Modelo baseado em agentes (MAS)	(Aragão, Novaes e Luna, 2015)
Modelo *milk run* dinâmico na coleta peças numa cadeia de suprimentos tipo OEM para a mitigação de atrasos	*Sequencial Probability Ratio Test*	(Novaes, Frazzon e Burin, 2011)
Modelo *milk run* dinâmico para áreas urbanas congestionadas mediante politicas de roteirização dinâmicas	Modelo de programação dinâmica estocástica	(Güner, Murat e Chinnam, 2017)

A partir dos trabalhos estudados nesta seção, pode se dizer que a pesquisa desenvolvida por Aragão, Novaes e Luna (2015) foi a única deste grupo a utilizar outro tipo de modelagem para o *milk run* dinâmico; no caso, modelos baseados em agentes. Neste modelo um conjunto de atividades é alocada a um veículo e dependendo das condições do tráfego as tarefas podem ser transferidas para outros veículos. A transferência de tarefas entre agentes se efetua através do

método de negociação Vickrey. Quando não se dispõe de um sistema de informação dinâmico, deve-se utilizar métodos menos sofisticados, como o proposto por Novaes *et al*. (2011), no qual se analisam as variações de velocidade nos segmentos do roteiro do caminhão usando o SPRT (*Sequencial Probability Ratio Test*), o qual permite identificar fatores exógenos que afetam o tráfego, dentre os quais condições climáticas extremas, greves do transporte público e outros que mudam a velocidade padrão do caminhão. Através deste método de estimação se avaliam duas hipóteses, a primeira, Ho: a velocidade média do veículo é menor que *V*, e H_1: a velocidade média do veículo é maior que *V*. Caso não exista suficiente evidência para confirmar alguma das hipóteses se coletam mais mostras.

No problema tratado por Güner et al. (2011) se estuda um esquema *milk-run* no qual os arcos da rede experimentam constantes problemas de congestionamento o que leva a que os tempos de deslocamento sejam estocásticos. Dependendo da locação do veículo e do instante de tempo são geradas Políticas de Roteirização Dinâmica (DRP) utilizando programação dinâmica estocástica. Simulando as DRP se determinam a distribuição de probabilidade para cada um dos arcos que pertence ao ciclo *milk-run* que esta sendo construído.

Agradecimentos
Esta pesquisa foi financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasil, projetos 302412/2016-6 e 309821/2016-9.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aragão, D.; A. Novaes e M. Luna (2015) A multi agent based system to enable dynamic vehicle routing. *Transportes*, v. 23, n. 1, p. 69 - 77.

Fleischmann, B.; S. Gnutzmann e E. Sandvo (2004) Dynamic vehicle routing based on online traffic information. *Transportation science*, v. 38, n. 4, p. 420 - 433.

Güner, A.; A. Murat e R. Chinnam (2017) Dynamic routing for milk-run tours with time windows in stochastic time-dependent networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 97, p. 251-267.

Larsen, A.; O. Madsen e M. Solomon (2002) Partially dynamic vehicle routing—models and algorithms. *Journal of the Operational Research Society*, v. 53, n. 6, p. 637 - 646.

Novaes A.; E. Frazzon e P. Burin (2011) Dynamic Vehicle Routing in Over Congested Urban Areas. In: Kreowski HJ., Scholz-Reiter B., Thoben KD. (eds) Dynamics in Logistics. Springer, Berlin, Heidelberg Novaes, A. et al. (2017) Mitigating Supply Chain Tardiness Risks in OEM Milk-Run Operations. *Dynamics in Logistics: Proceedings of the 5th International Conference*, LDIC, Bremen, Alemanha, p.141 - 150.

Sadjadi, S.; M. JafariI e T. Amini (2009) A new mathematical modeling and a genetic algorithm search for milk run problem (an auto industry supply chain case study). *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 44, n. 1-2, p. 194 - 200.

Wan J.; M. Chen; F. Xia; D. Li e K. Zhou (2013) From machineto-machine communications towards cyber-physical systems. Comput Sci Inform Syst v.10, n. 3 p.1105 - 1128.

Wan, J.; Zhang, D.; Zhao, S.; Yang, L. e J. Lloret (2014) Context-aware vehicular cyber-physical systems with cloud support: architecture, challenges, and solutions. *IEEE Communications Magazine*, v.*52*, n. 8, p. 106 - 113.

You, J. e Y. Jiao (2014) Development and Application of Milk-Run Distribution Systems in the Express Industry Based on Saving Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering*, p. 1 - 6.

Jaime Andrés Cardona Arias (jaiandcardona@utp.edu.co)
Giset Natalia Montoya Moreno (natimontoyam@gmail.com)
Orlando Fontes Lima Jr (oflimaj@fec.unicamp.br)
Antonio G. N. Novaes (oflimaj.fec@gmail.com)
Laboratório de Aprendizagem em Logística e Transportes – LALT, FEC/UNICAMP.
R. Albert Einstein, 951, Cidade Universitária Zeferino Vaz – Barão Geraldo, Campinas – SP, Brasil.