

ALOCÇÃO DE ATENDIMENTOS DE COLETA NO TRANSPORTE DE REMESSAS EXPRESSAS EM GRANDES CENTROS URBANOS

Claudio Henriques Felipe Fonseca

Claudio Barbieri da Cunha

Departamento de Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO

Este trabalho aborda o problema de programação de veículos que fazem a coleta e a entrega de encomendas em empresas de transporte expresso. Esta é uma atividade particularmente crítica, em função do pouco tempo para atendimento de novas coletas (em geral de algumas horas, no máximo), a fim de garantir os prazos reduzidos que caracterizam esse serviço. É proposta uma heurística de inserção que resolve o problema e permite alocar os atendimentos de coleta dinâmicos, isto é, que vão surgindo ao longo do dia, após os veículos terem saído da estação operacional, como também tratar os atendimentos de coleta e entrega conhecidos previamente à saída dos veículos. A heurística baseia-se na adaptação de um sistema de coordenadas a cada um dos cinco primeiros dígitos do Código de Endereçamento Postal brasileiro (CEP) como base de informações geográficas, em substituição ao uso de mapas digitais georeferenciados. São relatados resultados numéricos computacionais comparados a dados reais decorrentes da operação de empresa de transporte expresso.

ABSTRACT

This work deals with the problem of scheduling a fleet of vehicles in the context of express pickup and delivery services. This activity is particularly critical due to the short time available for the decision-making process (normally never exceeding a few hours) in order to ensure that the short timeframes, which distinguish this service, are met. An insertion heuristic is proposed to solve this problem and allows assigning the dynamic express pickup requests, i.e. those that are generated along the day after the vehicles depart from the operational station. This heuristic is based on the adaptation of the Brazilian Zip Code System (CEP) in lieu of geocoded digital maps. Numerical results are reported on data compared to real data from an express pick-up and delivery company.

1. INTRODUÇÃO

Com a expansão das atividades produtivas surgiram, no final da década de 60, os primeiros serviços integrados dos modais aéreo e terrestre, uma vez que os tradicionais serviços de correio não eram capazes de atender às crescentes exigências de rapidez, confiabilidade, segurança e comprovação de entrega.

O relatório “*International Air Express*” (1993) aponta a origem do transporte expresso como tendo ocorrido na década de 70, quando foi observada a demanda crescente do mercado o oferta de um serviço de transporte rápido porta-a-porta, com tempo de trânsito definido, associado a um elevado nível de serviço e desenvolvido através do emprego de um ou mais modais, normalmente o rodoviário terrestre conjugado com o aéreo.

Na década de 90, a realidade da economia globalizada e o surgimento do comércio eletrônico consolidaram o transporte expresso como a alternativa competitiva para acompanhar a velocidade com que negócios são realizados, vencer distâncias e barreiras internacionais que se colocam entre as diferentes origens e destinos, controlar todo o processo e ainda reduzir os custos logísticos de armazenagem e distribuição (Dornier *et al.*, 1998).

No relatório “*International Air Express*” (1993) são apontados dois conceitos principais que diferenciam o a modalidade expressa das demais modalidades de transporte: (i) execução e controle do transporte desde a coleta até a entrega (*porta-a-porta*) realizado por um único transportador; (ii) compromisso com um elevado nível de serviço.

Em linhas gerais, pode-se dizer que a operação expressa consiste em coletar as remessas nos domicílios dos remetentes, transportá-las até uma estação operacional de origem, consolidá-las, transferi-las até um *Centro Consolidador* também conhecido como “*hub*” ou concentrador, desconsolidá-las, efetuar a separação e consolidação por destino final, iniciar nova transferência até uma estação de destino, desconsolidá-las na estação operacional de destino, efetuando a entrega nos domicílios dos destinatários finais.

Note que a visão macro da operação pode apresentar um ou mais modais para sua realização. O rodoviário nas pontas do processo (coleta / entrega) e ainda nas transferências entre localidades e o ponto central de distribuição (HUB) para curtas distâncias e o aéreo, nas distâncias longas para transferência entre estações, conforme a Figura 1.

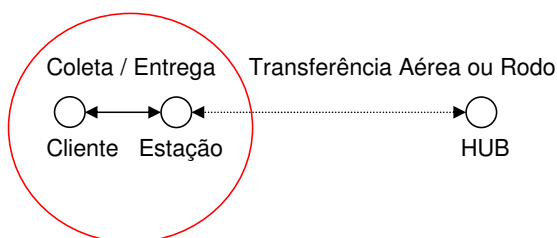


Figura 1: A cadeia expressa.

Um ponto importante a ser destacado é que, no serviço de remessa expressa, toda mercadoria é coletada em um endereço e entregue em outro, passando necessariamente por uma *Estação Operacional*. Os serviços que executam coletas e entregas num mesmo dia e sem passar por um centro operacional são denominados serviços de “mensageiros” e não fazem parte desse estudo. Em geral os endereços de origem e destino estão em localidades diferentes, muitas vezes até em outros países e continentes. Esse é o caso das grandes operadoras que atuam no Brasil, como a FedEx, a DHL, a UPS, a TNT Express, etc.

Este trabalho aborda uma heurística de inserção dinâmica para a programação dos veículos de coleta e entrega de encomendas expressas (nas pontas do processo) em grandes centros urbanos, permitindo tratar as coletas que vão surgindo ao longo do dia, após os veículos terem saído da estação operacional, através da busca do melhor roteiro em andamento para sua alocação.

Essa é uma atividade particularmente crítica, em função do pouco tempo para atendimento de novas coletas (em geral de algumas horas, no máximo), de forma a garantir os prazos reduzidos que caracterizam o transporte expresso. Adicionalmente, a maioria das coletas correspondem a clientes esporádicos e ocasionais, com perfil de demanda variável, ou seja, com horário e local imprevisíveis, impedindo uma programação prévia, como ocorre com os clientes regulares.

Mais especificamente, o objetivo do trabalho é tratar o problema de decisão de alocação de atendimentos de coletas expressas no Centro de Despacho Operacional. No caso em estudo, os clientes telefonam ao um Centro de Atendimento ao Cliente, que por sua vez encaminha uma solicitação de atendimento de coleta a um Centro de Despacho Operacional que, por sua vez, deve programá-lo, ou seja, inseri-lo em algum roteiro já existente em andamento.

Tendo em vista a urgência da programação, as deficiências e imprecisões dos mapas digitais disponíveis, as dificuldades de localização de endereços, a heurística apóia-se numa inovadora representação simplificada da malha viária, através da adaptação de um sistema de coordenadas, associado ao Código de Endereçamento Postal brasileiro (CEP).

Dada a complexidade das variáveis que afetam esse tipo de problema na prática, tais como tratamento de contingências, relações espaciais, urgência da operação, erros de endereçamento, entre outras, atualmente a programação é realizada manualmente, com base no conhecimento e na experiência dos despachadores.

Uma revisão da literatura sobre problemas de roteirização e programação de veículos realizada por Fonseca (2002) revelou uma carência de estudos sobre problemas dinâmicos, e também de coletas e entregas, em contrapartida à grande quantidade de estudos orientados a problemas estáticos.

A maior parte dos estudos de roteirização de coletas e entregas refere-se a problemas com demanda conhecida e estática, como os trabalhos de Solomon (1987), Dumas *et al.* (1991), Irnich (2000). Znamensky (2000) tratou do problema de transporte de pessoas com deficiências; já no trabalho de Leclerc & Potvin (1997) os pontos de coleta e entrega ocorrem na mesma rota, definindo uma precedência de eventos não existente no problema em estudo.

Ichoua *et al.* (2000) propuseram estratégias para designar solicitações de atendimento à uma frota de veículos em atividade expressa. Entretanto, a programação depende de tecnologias de comunicação e de localização geográfica de veículos e atendimentos em tempo real, ainda pouco acessíveis e caras, ou até mesmo inexistentes, em nosso país.

Uma vez que os problemas de roteirização em geral são do tipo “NP-difícil” e ainda, no presente caso são dinâmicos, ou seja, requerem respostas rápidas, algoritmos exatos ainda não são capazes de resolvê-los, justificando-se o uso de heurísticas para problemas reais.

Nas seções a seguir são apresentadas a caracterização do problema, a estratégia de solução, os resultados da implementação computacional e finalmente as conclusões.

2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA DE TRANSPORTE EXPRESSO

Atualmente, as remessas expressas abrangem, em sua quase totalidade, documentos e pequenos volumes tais como livros, amostras de mercadorias, produtos químicos e amostras biológicas, tornando-as manuseáveis por um único indivíduo.

Para dar início ao processo de transporte expresso, faz-se necessária a geração de uma solicitação de coleta, a qual pode decorrer de uma programação prévia (diariamente, em dias específicos, etc.) ou de um pedido ocasional, decorrente da necessidade momentânea de um cliente. Atualmente, em um dia operacional padrão, os clientes programados respondem por aproximadamente 23% do total de coletas diárias, enquanto que os clientes frequentes (sem programação pré-definida) e ocasionais representam os 77% restantes do total de coletas.

Uma característica importante observada na operação expressa de uma Estação Operacional é que cada *courier* deve conhecer bem os detalhes da sua rota. Para que isso ocorra, cada rota é fixa e executada pelo mesmo *courier* todos os dias.

As principais razões que justificam essa necessidade são:

- Urgência e prazo reduzido para execução do serviço, principalmente a coleta, não havendo tempo para consultas a guias ou outros auxílios de localização;
- Dinâmica acelerada de surgimento de novos atendimentos de coleta;
- Imprecisão na codificação dos endereços de entrega (no caso em estudo, 100% das remessas são internacionais, ou seja, têm origem ou destino fora do país)
- Necessidade de agilidade no deslocamento de um atendimento ao outro exigindo conhecimento da velocidade de tráfego nas diferentes horas do dia, locais para estacionar, procedimentos de acesso a edifícios, etc.

Um dos problemas observado no Brasil é a atual carência de mapas digitais da malha viária para a grande maioria dos municípios uma vez que tais recursos só se encontram disponíveis para algumas capitais e cidades mais importantes. Ainda assim, essas bases de dados nem sempre abrangem toda a malha viária, tampouco contêm informações numeração dos logradouros, de mãos de direção e de velocidades médias de percurso.

Tendo em vista as condicionantes de urgência que caracterizam o transporte expresso, o nível de detalhe de informações geográficas necessárias para formalizar uma base de dados “ideal” é muito complexo, conforme discutido por Cunha (2000), devendo considerar mãos de direção, movimentos e conversões permitidas e proibidas, velocidades de tráfego que variam ao longo do dia, etc. Adicionalmente, a complexidade dos nomes de ruas, a falta de padronização no uso de abreviações (Cunha, 2000), somadas a curtas janelas de tempo para atendimento, tornam inviável a localização automática de atendimentos por endereço (“*Address Matching*”), principalmente em se tratando de remessas internacionais, onde é maior a probabilidade de enganos e imprecisões na grafia dos endereços de destino.

Para contornar o problema, as empresas do setor trabalham com roteiros “fixos” e *couriers* experientes, prescindindo do uso de programas computacionais para a construção de novos roteiros a cada dia. Essa solução possui elevada dependência do conhecimento humano.

No serviço de remessas expressas, denomina-se rota (ou roteiro) um conjunto de CEPs pré-definidos, que são percorridos pelo *courier*, o qual executa os serviços de coleta, de entrega ou ambos, numa seqüência pré-definida, possuindo ainda horários definidos para o início e término de suas atividades. As rotas fixas são planejadas antecipadamente, processo este que se inicia com uma análise das características geográficas da região (barreiras naturais tais como pontes, rios, viadutos, grandes avenidas), bem como da densidade de clientes (indústrias, edifícios comerciais, residências, etc) e ainda de outras características particulares à região, como por exemplo, o fluxo do trânsito e veículos ao longo do dia.

Esse planejamento permite que um mesmo conjunto de CEPs possa ser atendido por mais de uma rota a qualquer hora do dia. Por exemplo, uma rota pode realizar coletas e entregas, enquanto que uma segunda rota trabalha em paralelo em determinado período do dia, a fim de prover um reforço no atendimento de coletas; ou ainda, cada uma operando na mesma região num período diferente do dia (manhã e tarde).

A prioridade da operação em garantir o atendimento no horário compromissado, aliada à característica física de pequenas encomendas, permitem classificar a frota como homogênea e não capacitada. Em outras palavras, em cada rota as restrições temporais são mais severas,

não ocorrendo, na prática, restrições de capacidade dos veículos utilizados pelos *couriers* para as coletas e entregas de documentos e pequenos volumes.

2.1 A Geografia das Rotas Expressas

A proposição de um método automatizado para o problema em questão, dadas as características dinâmicas e as de localização de endereços que mudam a cada dia, apóia-se na lógica de representação geográfica através do CEP – Código de Endereçamento Postal, descrito por Fonseca (2002).

Para melhor compreensão da geografia de uma rota expressa em ambiente urbano, a abordagem será conduzida dividindo-se a mesma em duas etapas:

- Fase de acesso e retorno à estação operacional;
- Fase de coleta e entrega na região de atendimento.

Acesso e retorno à estação operacional

Considerando-se uma região metropolitana cujos logradouros são identificados por CEP's de oito algarismos distintos, os quais são atendidos por uma ou mais rotas partindo e retornando para uma única estação operacional, os traçados representativos das rotas de acesso e retorno dos veículos às respectivas regiões de atendimento são indicados em tracejado na Figura 2; a Estação Operacional, de onde partem e retornam os veículos está ao centro. Durante o acesso à sua região, o veículo não deve realizar nenhum atendimento. É importante destacar que o no acesso a uma região, o veículo cruza diversas regiões de CEP sem realizar nenhuma coleta ou entrega, como, por exemplo, na rota 28, que atende à região de CEP 02800 e cruza, no seu caminho, as regiões de CEP 05000 e 05100, sem realizar nenhum atendimento.

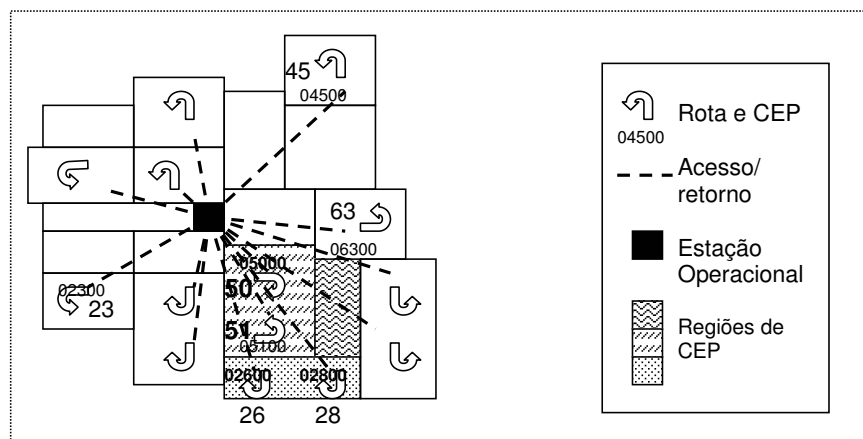


Figura 2: Representação de Acesso e Retorno à Estação Operacional

Coleta e entrega na região de atendimento

Ao chegar em sua região de atendimento, as rotas iniciam suas atividades de coleta e entrega, etapa simbolizada na Figura 2 pelas setas em formato de curva. Na fase de coletas e entregas observa-se uma tendência de repetição do ponto inicial de atendimento dentro de cada região

de CEP. Nessa fase é possível configurar também uma “seqüência” diária usual de atendimento dentro da região de CEP. A experiência operacional define os horários e sentidos de direção onde o trânsito é intenso, bem como o perfil de ocorrência de atendimentos de coleta ao longo do dia. Essas características acabam por repetir-se de um dia a outro, configurando uma seqüência “informal” para a programação dos atendimentos.

Na eventualidade de uma das rotas atingir o limite de sua capacidade horária de atendimentos, a alternativa do Despachante Operacional é transferir novos atendimentos para outra(s) rota(s). Para facilitar essa decisão, deve-se estabelecer na fase de planejamento das rotas, uma região dentro da qual a possibilidade de intercâmbio de atendimentos seja a maior possível. Essa região é denominada “região compartilhada”.

Assim, a estratégia de solução proposta baseia-se na adoção do Código de Endereçamento Postal Brasileiro (CEP), como chave principal de referência espacial para a programação e distribuição de chamados entre as rotas, através da determinação e associação de coordenadas geográficas a cada grupo de cinco algarismos principais de CEP, abrindo-se ainda a possibilidade para a exploração do potencial de atendimento existente no percurso de retorno das rotas de suas regiões de atendimento e, finalmente, a consideração do efeito das paradas de entrega na programação das coletas.

2.2 Formalização do Problema

O Problema de Alocação de Atendimentos de Coletas Expressas (PAAC-E) é considerado um problema dinâmico de designação de solicitações de coletas a rotas, envolvendo a operação de coletas e entregas de remessas expressas. Consideram-se as seguintes premissas para o problema em questão:

- A frota de veículos é definida, homogênea e não capacitada;
- O conjunto de rotas é previamente definido;
- Uma rota é executada por um único veículo;
- Os veículos devem partir e retornar de uma mesma estação operacional;
- As solicitações de coleta são agrupadas e ordenadas, conforme sua urgência, para posterior teste de viabilidade e inserção de cada atendimento individualmente;
- Os tempos de deslocamento e de atendimento são simplificados na forma de parâmetros de produtividade de cada rota;
- A frota dedicada não sofre restrições de circulação nas vias dos municípios;
- Cada veículo serve a apenas uma rota e os pontos de atendimento são visitados apenas uma vez por cada veículo;
- As localizações e características das remessas para entrega são conhecidas antes da saída dos veículos da base operacional;
- As localizações e características da maior parte dos atendimentos de coleta vão sendo conhecidas após a saída da frota da base;
- Cada tipo de serviço possui janelas de tempo definidas para atendimento;
- A janela de tempo para atendimento de coleta é rígida e inviolável, definida pelo cliente dentro dos limites de cada serviço;
- A janela de tempo para atendimento de entrega é flexível com imposição de penalidade, definida previamente pelo tipo de serviço contratado na origem;
- A janela de tempo de jornada de trabalho é flexível com imposição de penalidade definida pelo operador;

É dada uma frota de m veículos idênticos e não capacitados e um conjunto de pontos de atendimentos de entregas e coletas a serem realizados, alguns conhecidos antes da saída desses da estação operacional e outros que vão surgindo dinamicamente. A cada ponto visitado está associado um CEP de cinco dígitos e ainda uma janela de atendimento específica e independente dos demais pontos, onde o horário mínimo informado é o mais cedo e o horário máximo é o mais tarde para a execução do serviço. As janelas de atendimento de coleta são rígidas e não devem ser violadas para garantir a condição de viabilidade de inserção do atendimento. Pretende-se determinar a melhor alocação das solicitações de coleta que vão surgindo, de modo a minimizar a soma ponderada do tempo total necessário para responder ao atendimento de coleta com o tempo total de trabalho realizado em regime de horas-extras.

Uma rota pode ser definida como estando, em um dado instante t , em uma de três fases, conforme descrito a seguir e ilustrado na Figura 3:

- Atendimentos já realizados que não podem mais ser modificados (a,b);
- Atendimento em execução, incluindo-se aí a fase de deslocamento para o próximo cliente a ser atendido (deslocamento para d após atendimento de c);
- Atendimentos planejados para execução, ainda não executados (e, f, g).

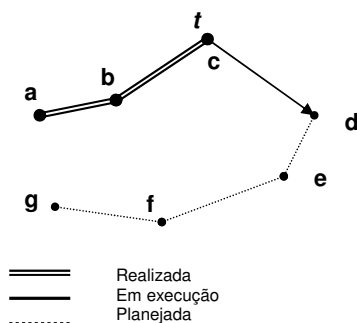


Figura 3: Fases de uma Rota Dinâmica

Dada uma nova solicitação de atendimento no instante t , o problema então é garantir o atendimento dentro da janela determinada através do teste de viabilidade de cada atendimento em todas as rotas ativas, efetuando-se a inserção na rota viável apresentando o menor valor calculado da função objetivo.

3. ESTRATÉGIA DE SOLUÇÃO

As dificuldades em se tratar o problema de roteirização nas atividades de coleta e entrega no transporte expresso decorrem da combinação de janelas de tempo muito reduzidas com um conjunto de atendimentos de coleta dinâmico, agravadas ainda por dois fatores mencionados anteriormente: a velocidade requerida para a tomada de decisão, tendo em vista a urgência que caracteriza a atividade, aliada à dificuldade de localização geográfica da maioria dos endereços de atendimento, que mudam todos os dias.

Considera-se um ambiente de típico de coleta e entrega de mercadorias expressas em grandes centros urbanos os roteiros têm extensão reduzida, existe elevada densidade de paradas com um rápido tempo de deslocamento entre atendimentos.

O método proposto para o tratamento da distribuição de atendimentos de coleta no Centro de Despacho Operacional é heurístico, com alocação sequencial dos atendimentos e inserção paralela em cada uma das rotas do conjunto já existente, a partir de uma versão adaptada da Heurística de Inserção proposta por Solomon (1987). Diferentemente da abordagem sequencial de Solomon (1987), o problema de alocação de atendimento de coletas expressas (PAAC-E) é modelado como um problema de inserção em diversas rotas em paralelo.

O método não se preocupa necessariamente em determinar o melhor roteiro para cada veículo, mas sim em identificar e sugerir ao Despachante Operacional aqueles que oferecerem melhores condições de atendimento com base em dois atributos principais a saber: minimização do tempo de atendimento a partir do instante de solicitação de coleta pelo cliente e minimização da quantidade de horas-extras na operação de cada veículo.

A eficácia da rotina requer a definição de parâmetros iniciais, tais como a definição da área de operação de cada rota, a liberdade de alocação de entregas e ainda a definição de um sistema de informação geográfica simplificado, baseado em centróides de sequências principais do Código de Endereçamento Postal Brasileiro. Dessa forma, o método visa reduzir a dependência no conhecimento humano dos profissionais que realizam essa tarefa, hoje observada nessa atividade.

O método de solução proposto compõe-se de duas etapas, a primeira denominada estática, onde são programados os atendimentos conhecidos previamente à saída dos veículos e a dinâmica, em que os novos atendimentos que vão surgindo devem ser alocados aos roteiros em andamento.

Na parte estática do problema são alocados primeiramente os atendimentos de entregas às rotas e a seguir as coletas já conhecidas, sequenciando-as em ordem crescente de acordo com sua janela horária de atendimento.

No instante em que a rota parte da estação operacional inicia-se a etapa dinâmica, em que os novos atendimentos de coleta que vão surgindo devem ser inseridos nas rotas em andamento. Com base no conjunto de CEP's que compõem o percurso de cada rota em andamento é possível calcular, para cada nova solicitação de atendimento que é recebida dinamicamente no sistema, uma estimativa da distância a ser percorrida para inserir o novo atendimento u numa certa posição da rota, bem como uma estimativa do tempo de viagem.

Os atendimentos de coleta que vão surgindo após a saída dos veículos vão sendo recebidos e agrupados até que um intervalo limite de tempo pré-definido seja atingido. Esse intervalo é, em geral, de cerca de, no máximo, 10 minutos, tendo em vista a urgência do atendimento das coletas, em função das janelas de tempo dessa modalidade de transporte expresso.

Uma vez atingido o intervalo limite de tempo, os atendimentos recebidos no período são ordenados em função da sua urgência (menor prazo para atendimento) e programados, nessa ordem. Para cada novo atendimento j a ser programado são selecionadas as rotas candidatas a inserção, dentre as rotas em andamento, isto é, aquelas que passam pela região onde se

localiza o endereço do atendimento a ser programado. A seguir, para cada uma das rotas candidatas é identificado o atendimento i já inserido que corresponda à mínima distância adicional d_{ij} para inserção de j após i e que não viole a janela horária de atendimento de j .

Dentre as rotas viáveis para inserção do novo atendimento j , é selecionada aquela que representa o menor custo adicional, considerando-se uma função de custo que corresponde à ponderação das parcelas de tempo adicional para atendimento de j e do eventual tempo de horas-extraordinárias decorrente da inserção de j na rota.

Uma vez definida a melhor rota para a inserção, toma-se o segundo atendimento mais urgente e assim sucessivamente até o final do lote. Encerrado o lote de atendimentos, abre-se o lote seguinte e assim sucessivamente até o final da operação.

4. APLICAÇÃO DO MODELO

O método proposto foi aplicado a um problema real de operação de rotas de transporte expresso operando exclusivamente no município de São Paulo.

Uma vez que o método proposto objetiva atuar como uma ferramenta de suporte à tomada de decisão para alocação de atendimentos de coleta por um profissional de Centro de Despacho Operacional, a avaliação dos resultados computacionais será realizada através da comparação da simulação matemática de um dia de operação com os dados de uma operação real.

Os parâmetros selecionados para comparação são:

- Total de horas trabalhadas por todas as rotas dedicadas exclusivamente à área de operação;
- Total de horas trabalhadas em regime de horas-extra;
- Número total de ocorrências de falhas de atendimento.

A heurística proposta foi estruturada em linguagem Visual Basic, utilizando banco de dados Microsoft Access 97, em ambiente Windows 98.

4.1 Resultados

A amostragem do ambiente operacional compreende um universo de 961 atendimentos de entrega e 684 atendimentos de coleta a serem alocados a uma frota de 78 veículos. A fim de minimizar a possibilidade de que rotas cujo percurso não se restringe ao município de São Paulo, objeto do presente estudo, pudessem produzir efeitos indesejáveis na análise, foram selecionados para processamento os atendimentos cuja localização estivesse em faixas de CEP cujas rotas candidatas para inserção operassem exclusivamente dentro do município de São Paulo. Isso resultou 177 atendimentos de coleta e 400 atendimentos de entrega, podendo ser alocados a 32 rotas candidatas.

Os testes computacionais foram realizados em um microcomputador com processador Pentium IV e 256 MB de memória RAM. O tempo médio para inserção de cada novo atendimento através da heurística proposta foi 4,7 segundos.

Considerando-se que a frequência de geração de atendimentos varia ao longo do dia, no teste efetuado, o tempo de formação de lote foi de 6 minutos, com tempos computacionais nunca superiores a 5 minutos nos horários de pico. Embora existam oportunidades para um

aprimoramento computacional da heurística proposta, utilizando uma linguagem de programação mais eficiente, o desempenho obtido já viabiliza a aplicação prática do método.

O processamento dos 577 atendimentos para o grupo selecionado de rotas resultou numa programação em que foram necessárias 203,0 horas para executar todos os atendimentos, enquanto que a operação real realizada naquele dia requereu 205,7 horas, indicando uma possível economia de aproximadamente 1% nas horas trabalhadas.

Por outro lado, na operação real foram realizadas 8,4 horas em regime de hora-extra, enquanto que o método calculou a necessidade de 11,5 horas, representando um aumento de 37%.

Em parte isso pode ser explicado porque na lógica busca-se, intrinsecamente, atender ao cliente o mais rápido possível, resultando na alocação das entregas às rotas que iniciam mais cedo, impondo a estas uma sobrecarga de trabalho. Por outro lado, as rotas do período da tarde ficaram com as coletas e menos horas de trabalho. Em nenhum dos dois casos ocorreram falhas operacionais, ou seja, entregas ou coletas não realizadas.

Embora o número de horas-extras calculado tenha sido maior do que o efetivamente realizado, o método provou ser capaz de resolver o problema de alocação e distribuição de atendimentos de coleta de maneira muito semelhante ao ocorrido na prática, apresentando uma variação de menos 1% no total de horas trabalhadas do que o realizado na prática pelo mesmo conjunto de rotas em análise.

Uma alternativa simples para contornar a questão de horas extraordinárias seria limitar o número máximo de atendimentos de entrega para cada rota, permitindo uma melhor equalização dos atendimentos e maior equilíbrio da carga de trabalho.

Testes adicionais incorporando mais rotas, bem como a utilização do método em paralelo com a operação real seriam medidas de grande auxílio para identificar a necessidade de novos ajustes.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O problema de despacho operacional de veículos no contexto do transporte expresso de mercadorias, mais precisamente as operações de entrega e coleta de mercadorias junto aos clientes localizados em grandes centros urbanos diferencia-se por apresentar características específicas, tais como a frequência de chamados de atendimento de coleta ao longo do dia, a elevada densidade de paradas, diferentes restrições de horários para atendimento dos chamados, etc. Em um dia normal, a maioria das solicitações de coleta vai surgindo ao longo do dia, sendo, portanto, desconhecida nos instantes de saída dos veículos da Estação Operacional. Essas características requerem elevado grau de agilidade nas decisões dos profissionais que atuam no Centro de Despacho Operacional, por onde passam necessariamente todos os pedidos de atendimento de coleta.

A oportunidade de tratar o Problema de Alocação de Atendimentos de Coletas Expressas (PAAC-E) surgiu da constatação de que, atualmente no Brasil, todo o processo de alocação dinâmica de coletas às rotas é realizado manualmente. Assim, propôs-se um método de solução que permite alocar os atendimentos de coleta dinâmicos, isto é, que vão surgindo ao longo do dia, como também tratar os atendimentos de coleta e entrega conhecidos previamente à saída dos veículos.

As principais dificuldades práticas encontradas nesse problema de roteirização e programação dinâmica estão relacionadas à combinação de janelas de tempo de atendimento e à velocidade (urgência) da operação, a qual requer que as decisões sejam tomadas em curto período de tempo. Conforme foi visto, algumas das dificuldades verificadas estão relacionadas à questão de identificação de endereços (“*address matching*”), à ausência de base de dados de informações geográficas atualizadas e à falta de recursos técnicos e financeiros no mercado para viabilizar a implantação das tecnologias mais modernas.

A solução proposta baseia-se em uma heurística de inserção, com a adaptação de um sistema de coordenadas baseado no CEP, em substituição ao uso de mapas digitais acoplados a sistemas de localização de veículos. Esse tratamento foi possível pelo fato de que, no transporte expresso, cada rota corresponde a um conjunto de CEP’s pré-definidos, com um ponto de inicial de atendimento pré-definido, com horários também definidos para início e término.

Um aspecto crucial da aplicação da heurística proposta ao problema. Novos atendimentos devem ser inseridos rapidamente nas rotas, uma vez que os prazos máximos de atendimento são muito curtos (em geral até duas horas).

Uma limitação importante é o é o reduzido tempo de resposta, em função dos reduzidos prazos de atendimento. Mesmo assim, evitou-se a alocação sequencial dos atendimentos nas rotas, à medida em que os mesmos vão sendo recebidos: os atendimentos de coleta vão sendo agrupados e depois ordenados para inserção nas rotas segundo um critério de urgência, evitando-se que a alocação de um atendimento menos urgente a uma rota venha a inviabilizar a alocação de um atendimento mais urgente que surja posteriormente.

O método foi testado com dados de um dia típico de operação expressa no município de São Paulo, com o objetivo de simular a operação em ambiente computacional e comparar os resultados calculados com os realizados na prática. Os resultados indicaram que o método provou ser capaz de distribuir atendimentos de maneira muito semelhante ao ocorrido na prática, com uma variação de 1% a menos do que o efetivamente realizado.

Um aspecto importante a ser melhor investigado consiste na avaliação do impacto da variação do período de tempo para agrupamento antes da sua ordenação e posterior inserção nas rotas segundo um critério de urgência: quanto maior esse período, potencialmente maiores ganhos são possíveis com a otimização; por outro lado, uma demora grande na alocação pode implicar em perda de tempo precioso para a realização dos atendimentos, dados os reduzidos prazos característicos desse serviço expresso.

Dentre as vantagens oferecidas pelo método, pode-se destacar a diminuição da dependência do conhecimento humano para realizar a operação, isto é, o conhecimento hoje acumulado pelo despachante operacional pode ser reproduzido com qualidade pelo método, permitindo que um profissional de menor experiência na atividade conduza a operação. O sistema prevê também um módulo de contingência onde em caso de indisponibilidade de uma rota (quebra do veículo por exemplo) os atendimentos de coleta possam ser redirecionados para alocação automática.

Sugere-se ainda que trabalhos futuros na área de roteirização e programação dinâmica de veículos no Brasil venham a investigar em maior detalhe a possibilidade de uso do CEP como base de referência geográfica, através do estabelecimento de centróides para cada sequência completa do CEP, ou seja, os cinco primeiros algarismos mais os três de sufixo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cunha, C. B. (2000). Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais. *Transportes*, v.8 , n.2, p.51-74.
- Dornier, P. P. (1998) *Global Operations and Logistics – Text and Cases*. John Wiley & Sons Inc.
- Dumas, Yvan et al. (1991) The Pickup and Delivery Problem with Time Windows. *European Journal of Operational Research*, v.54, p.7-22.
- Fonseca, C.H.F. (2002). *Alocação de Atendimentos de Coleta no Transporte de Remessas Expressas em Grandes Centros Urbanos*. Dissertação (Mestrado) Depto. de Eng. de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo
- Ichoua S.; M. Gendreau; J.Y. Potvin (2000). Diversion Issues in Real Time Vehicle Dispatching. *Transportation Science* 34:4, p. 426-438.
- International Air Express Distribution Report (1993), Cranfield University, School of Management, 49p.
- Irnich, S., (2000). A Multi-depot Pickup and Delivery Problem with a Single Hub and Heterogeneous Vehicles. *European Journal of Operational Research*, n.122, p.310-328.
- Leclerc, F.; J.Y. Potvin. (1997). Genetic Algorithms for Vehicle Dispatching. *International Transactions in Operational Research*, Vol. 4, No 5/6, p.391-400.
- Solomon, M. (1987). Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operations Research*, v.35, n.2, p.254-265.
- Znamensky, A. (2000). *Um Modelo para a Roteirização e Programação do Transporte de Deficientes*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 144p.

Cláudio Henriques Felipe Fonseca
Email: chfonseca@fedex.com

Claudio Barbieri da Cunha
Email: cbcunha@usp.br

Depto de Engenharia de Transportes - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Caixa Postal 61548 - CEP 05424-970 – São Paulo – SP, Brasil
Fone: +11-3091-5732 Fax: +11-3091-5716