

## PROBLEMAS DINÂMICOS DE COLETA E ENTREGA COM JANELAS DE TEMPO: ANÁLISE DAS INSTÂNCIAS DE BENCHMARK

**Renan Artur Lopes Eccel**

**Rodrigo Castelan Carlson**

Universidade Federal de Santa Catarina

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas

### RESUMO

O problema de coleta e entrega com janelas de tempo (PDPTW - *Pickup and Delivery Problem with Time Windows*) e o problema *dial-a-ride* (DARP - *Dial-A-Ride Problem*) dinâmicos não possuem instâncias de *benchmark* que sejam amplamente usadas, o que dificulta a comparação de diferentes algoritmos de solução. Por esse motivo, este trabalho tem como propósito analisar os conjuntos de instâncias de problemas PDPTW e DARP dinâmicos atualmente disponíveis para uso, assim como os métodos usados para gerá-las. Como base para análise são usadas duas medidas, grau de dinamismo e urgência, que caracterizam a distribuição dos pedidos dinâmicos das instâncias. Isto é feito com a finalidade de auxiliar a escolha de conjuntos de instâncias de interesse para teste de novos algoritmos, ou, caso necessário, a escolha de um método para geração de novas instâncias. Os resultados de análise mostram que, em sua maioria, os conjuntos estudados apresentam baixa variabilidade em suas medidas de dinamismo e urgência. Isso acontece principalmente por causa do método utilizado para geração das instâncias.

### ABSTRACT

The dynamic PDPTW (*Pickup and Delivery Problem with Time Windows*) and DARP (*Dial-A-Ride Problem*) do not have widely used benchmarks, which makes it difficult to compare different solution algorithms. For this reason, this dissertation aims to analyze the sets of instances of dynamic PDPTW and DARP currently available for use, as well as the methods used to generate them. As a basis for analysis two measures will be used: degree of dynamism and urgency, which characterize the instances dynamic requests distribution. This is done in order to help researchers choose interesting sets of instances to test new algorithms, or, if necessary, the choice of a method for generating new instances. The analysis results show that most of the studied sets present low variability in their measures of dynamism and urgency. This characteristic is mainly caused by the method used to generate the instances.

## 1. INTRODUÇÃO

Problemas de roteamento dinâmico de veículos são objetos de pesquisa há cerca de três décadas (Psaraftis *et al.*, 2015). Derivados de problemas de roteamento de veículos (VRP - *Vehicle Routing Problem*) clássicos, como o problema *dial-a-ride* (DARP - *Dial-A-Ride Problem*) e o problema de coleta e entrega com janelas de tempo (PDPTW - *Pickup and Delivery Problem with Time Windows*), os problemas dinâmicos buscam modelar casos em que um ou mais parâmetros do problema não são totalmente conhecidos *a priori* e podem variar durante o período de operação.

Dentre o grupo de problemas dinâmicos de roteamento veicular, o problema *dial-a-ride* dinâmico (DDARP - *Dynamic Dial-a-Ride Problem*) (Psaraftis, 1988) e o problema dinâmico de coleta e entrega com janelas de tempo (DPDPTW - *Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows*) (Dumas *et al.*, 1991) são de grande interesse para o desenvolvimento de novas tecnologias de transporte urbano. São esses os problemas que precisam ser solucionados quando precisa-se de um serviço de transporte compartilhado dinâmico (*dynamic ride-sharing*) (Agatz *et al.*, 2012; Alonso-González *et al.*, 2018), ou quando necessita-se fazer uma entrega imediata de encomendas (Pankratz, 2005). Atualmente, algumas empresas fornecem serviços desse tipo (UberPool, Via, UBus, UberEats, Rappi). Entretanto, com o esperado avanço tecnológico na área de veículos autônomos e a diversificação dos transportes públicos introduzida principalmente por sistemas de mobilidade como um serviço (MaaS - *Mobility as a Service*), serão cada vez

mais necessário algoritmos para a solução dos problemas DDARP e DPDPTW em menor tempo e proporcionando um melhor resultado (Fulton *et al.*, 2017).

Uma pesquisa científica na área de algoritmos para soluções de problemas desse tipo normalmente requer a montagem de uma simulação computacional, já que testes empíricos são economicamente inviáveis para esse tipo de pesquisa (Maciejewski *et al.*, 2017). A ideia do uso de simulações é poder gerar resultados de eficiência e de tempo computacional dos métodos de solução dos problemas para, com isso, comparar diferentes algoritmos.

Entretanto, para que os resultados possam ser comparados entre artigos, sem a necessidade de reproduzir experimentos de outros autores, necessita-se que as simulações conduzidas usem os mesmos cenários de simulação. Na área de VRP estáticos é comum a existência de conjuntos de cenários canônicos extensivamente usados que facilitam a comparação entre algoritmos (Mendoza *et al.*, 2014), chamados de conjunto de instâncias de *benchmark*.

Todavia, não existem instâncias de *benchmark* de referência para problemas de roteamento dinâmico de veículos que sejam amplamente usadas (Pillac *et al.*, 2013; Maciejewski *et al.*, 2017). Isso faz com que a comparação entre algoritmos propostos para resolver problemas como DPDPTW e DDARP seja difícil e custosa.

O objetivo deste artigo é compilar as informações disponíveis sobre as instâncias de *benchmark* de DDARPs e DPDPTWs que estejam acessíveis e disponíveis para uso, com enfoque na forma com que são feitas a distribuição dos pedidos ao longo do período de operação dos sistemas. Também faz parte do escopo uma análise de duas medidas, urgência e grau de dinamismo, propostas por Van Lon *et al.* (2016) que ajudam a identificar as características temporais das instâncias. Com isso, procura-se auxiliar o processo de busca e seleção de conjuntos de instâncias interessantes para uso em simulações e teste de novos algoritmos ou, caso necessário, auxiliar a seleção de um método de geração de instâncias dinâmicas adequado ao interesse de pesquisa.

A Seção 2 apresenta as formulações dos problemas de interesse. Na Seção 3 os conjuntos de instâncias de *benchmark* são descritos. A Seção 4 contém uma avaliação dos conjuntos de *benchmark* usando as medidas de dinamismo e urgência. Por fim, a Seção 5 encerra com as conclusões e recomendações.

## 2. DEFINIÇÃO FORMAL DOS PROBLEMAS

Esta seção apresenta formulações para o DDARP e o DPDPTW baseadas na definição apresentada por Cordeau e Laporte (2003). Para isso inicia-se apresentado a definição de um DARP estático. Posteriormente essa definição é expandida para as demais.

### 2.1. Definição formal do DARP

O DARP consiste em um conjunto de pedidos de transporte de passageiros entre diferentes locais de coleta e entrega que devem ser atendidos por uma frota de veículos com capacidade para levar mais de um passageiro concomitantemente. O objetivo é encontrar um conjunto de rotas para os veículos da frota que minimize o tempo e/ou o custo para completar os pedidos de transporte.

Cada um dos pedidos possui um local de coleta e uma janela de tempo associada que identifica os limites superiores e inferiores de tempo no qual o usuário deseja ser coletado para a viagem. De maneira análoga, o pedido de transporte também possui um ponto de destino do passageiro e uma janela de tempo para entrega. Apesar de ter definido uma janela de tempo para o início e o fim desejados de sua viagem, o passageiro também espera que seu trajeto não demore mais que o que ele considera aceitável.

O DARP pode ser definido por um grafo direcional completo  $G(V, A)$ , em que  $V$  são os nós e  $A$  são os arcos do grafo, com  $V = C \cup E \cup \{v_0, v_{2n+1}\}$ ,  $C = \{v_1, \dots, v_n\}$ ,  $E = \{v_{n+1}, \dots, v_{2n}\}$  e  $n$  o número de pedidos. Os subconjuntos  $C$  e  $E$  contêm, respectivamente, os nós de coleta e entrega dos pedidos, enquanto os nós  $v_0$  e  $v_{2n+1}$  representam os nós de origem e destino dos veículos. Todos os veículos da frota devem iniciar suas rotas no nó  $v_0$  e finalizá-las no nó  $v_{2n+1}$ . Para cada pedido  $i \in P = \{1, \dots, n\}$  é associado um nó de coleta  $v_i \in C$  e um nó de entrega  $v_{n+i} \in E$ . A cada arco  $(v_i, v_j) \in A$  é associado um custo  $c_{(i,j)}$  e um tempo de viagem  $t_{(i,j)}$ .

Cada veículo  $k \in K$ , sendo  $K$  o conjunto de veículos disponíveis, possui uma capacidade  $Q_k$  e um tempo máximo total de rota  $T_k$ . Para cada nó  $v_i \in V$  existe um carregamento  $q_i$  associado e um tempo de serviço  $s_i$ , não negativo, sendo que  $s_0 = s_{2n+1} = 0$ ,  $q_0 = -q_{2n+1}$ .

As janelas de tempo dos pontos de coleta e entrega de cada pedido podem ser definidas por  $[e_i, l_i]$  e são associadas aos nós  $v_i \in V$ , em que  $e_i$  e  $l_i$  representam, respectivamente, o limite inferior e superior para o instante de tempo que o serviço deve começar no nó  $v_i$ . Denota-se por  $L_i$  o tempo máximo de viagem de um pedido, determinado pelo valor de tempo que o passageiro considera aceitável para o seu trajeto.

Finalmente, define-se um intervalo de tempo, denominado horizonte de planejamento,  $[0, H]$ , no qual o instante zero representa o início da operação, em que todos os veículos estão localizados no nó inicial ( $v_0$ ) e todos os usuários estão aguardando ser coletados nos seus respectivos pontos iniciais. Por conseguinte, o instante  $H$  representa o fim da operação, em que os veículos terminaram de cumprir suas rotas, levando todos os usuários do seus respectivos pontos iniciais para os pontos finais, e se encontram no nó final ( $v_{2n+1}$ ). Todas as janelas de tempo dos nós ( $[e_i, l_i], \forall v_i \in C \cup E$ ) devem estar contidos no intervalo de tempo  $[0, H]$ .

## 2.2. Definição formal do PDPTW

O PDPTW é um problema de roteamento de pedidos muito semelhante ao DARP. Como no DARP, o PDPTW também possui um conjunto de pedidos de transporte com origens e destinos diferentes e janelas de tempo associadas. Também conta com uma frota de veículos com capacidade de transportar mais de um pedido de maneira concomitante. Entretanto, os pedidos contidos em um PDPTW são referentes ao transporte de mercadorias e não de passageiros. É por esse motivo que surge a única diferença entre a definição do DARP e do PDPTW (Parragh *et al.*, 2008).

Na definição do DARP apresentada na Seção 2.1 apresenta-se o parâmetro  $L_i$  para representar o tempo máximo de viagem de um pedido, o qual limita o tempo total que um passageiro deseja permanecer dentro do veículo. Entretanto, para o PDPTW essa restrição não é necessária. Como a carga não sofre nenhum desconforto com a demora no tempo de viagem. Pode-se considerar

que a definição apresentada anteriormente para o DARP pode ser usada também para o PDPTW, porém, para esse último, o parâmetro  $L_i = \infty, \forall i \in P$ .

### 2.3. Definição formal do DDARP e do DPDPTW

Nas definições do DARP e do PDPTW, apresentadas nas Seções 2.1 e 2.2, respectivamente, os pedidos são totalmente conhecidos antes de resolver o problema e não variam durante a operação das rotas determinadas pela solução do problema, ou seja, são problemas estáticos (Psaraftis, 1988). Problemas de roteamento que recebem dados atualizados em tempo real simultaneamente ao processo de operação das rotas são problemas dinâmicos. Nesse caso os pedidos são enviados pelos usuários durante a operação do sistema. As formulações DARP e PDPTW serão portanto modificadas para que obtenha-se uma definição sucinta dos seus respectivos problemas dinâmicos.

Para que pedidos cheguem em qualquer instante de tempo contido dentro do intervalo  $[0, H]$  define-se um instante de chegada para os pedidos ( $a_i, \forall i \in P$ ) representando o exato momento que o pedido  $i$  se faz conhecido pelo sistema de transporte. Vale destacar que o instante de chegada de um pedido implica que este será levado em consideração para o planejamento das rotas apenas durante a operação do sistema de transporte e somente quando o tempo atual for igual ou maior que  $a_i$ . Deve-se garantir que o valor  $a_i$  seja menor ou igual ao limite inferior da janela de tempo de um pedido ( $e_i$ ).

Com a adição desse conjunto de parâmetros às definições do DARP e do PDPTW anteriormente descritas obtemos uma definição sucinta para o DDARP e o DPDPTW.

## 3. CONJUNTOS DE INSTÂNCIAS DE BENCHMARK

Esta seção tem como objetivo apresentar conjuntos de instâncias de *benchmark* dinâmicas DDARP ou DPDPTW cujos os dados estão disponíveis para acesso na internet (Pankratz e Krypczyk, 2009) e que serão analisados na Seção 4. Quatro desses conjuntos de instâncias dinâmicas são derivados de conjuntos estáticos: Berbeglia *et al.* (2012), Pureza e Laporte (2008), Pankratz (2005) e Fabri e Recht (2006) aplicam, cada um, um método diferente para transformar as instâncias estáticas em dinâmicas. O quinto conjunto foi criado artificialmente de maneira a replicar o comportamento de um centro urbano, com horários de pico e uma demanda concentrada no centro da cidade (Gendreau *et al.*, 2006). O sexto conjunto é baseado em dados reais, coletados em duas companhias de correio de médio e grande porte, que operam em Vancouver, Canadá (Mitrovic-Minic e Laporte, 2004). Os métodos de dinamização ou as formas de alocação temporal dos pedidos de cada um dos conjuntos serão apresentados nesta seção. As características estáticas das instâncias não serão apresentadas neste artigo; para informações mais detalhadas recomenda-se a leitura dos artigos citados em cada uma das subseções seguintes.

Destaca-se que todos os dados dos conjuntos de instâncias de *benchmark* que serão caracterizados e analisados estão disponíveis para consulta e utilização, assim como todos os códigos usados para a análise destas instâncias (Eccel, 2019).

### 3.1. Conjuntos de instâncias DDARP propostas por Berbeglia *et al.* (2012)

Berbeglia *et al.* (2012) usam dois conjuntos diferentes de instâncias para suas simulações, cada um deles derivado de conjuntos de instâncias estáticas diferentes. No primeiro conjunto eles

usam como base as instâncias estáticas propostas por Ropke *et al.* (2007). Já no segundo são usadas as instâncias estáticas apresentadas por Cordeau e Laporte (2003). Em ambos os casos Berbeglia *et al.* (2012) optaram por usar as instâncias cujo número de pedidos fosse igual ou superior a quarenta.

Ambos os conjuntos foram dinamizados através da seguinte técnica. Define-se um par de parâmetros  $(\alpha, \beta)$ ;  $\alpha \in [0, 1]$  define a porcentagem de pedidos conhecidos no início do horizonte de tempo. Se  $\alpha = 0$  o problema é totalmente dinâmico, se  $\alpha = 1$  o problema é totalmente estático e todos os pedidos são conhecidos previamente.  $\beta$  representa um intervalo de tempo de reação do sistema aos pedidos dinâmicos. Ou seja, intervalo entre a chegada do pedido e a sua coleta sempre será maior que  $\beta$ .

Dado um pedido  $i$ , o valor  $a_i^{\text{latest}}$  consiste em um limite superior para o instante que o pedido deve ser conhecido para que seja possível servi-lo. Assim:

$$a_i^{\text{latest}} = \min\{l_i, l_{n+i} - t_{(i,n+i)} - s_i\}. \quad (1)$$

Portanto, o instante de chegada do pedido pode ser definido como:

$$a_i = a_i^{\text{latest}} - \beta. \quad (2)$$

Berbeglia *et al.* (2012) utilizam os parâmetros  $\alpha = 0,25$  e  $\beta = 60$  para a dinamização do conjunto de instâncias apresentadas por Ropke *et al.* (2007). Já o conjunto de instâncias pertencentes à Cordeau e Laporte (2003), foi transformado em um conjunto de instâncias dinâmicas usando os parâmetros  $\alpha = 0,25$  e  $\beta = \mathcal{U}(60; 240)$ , em que  $\mathcal{U}(a; b)$  representa uma variável aleatória com distribuição uniforme entre o intervalo  $[a, b]$ . Destaca-se que este artigo usa o mesmo método de dinamização e mesmos valores de  $\beta$  para essas instâncias, porém usa-se  $\alpha = 0$ , já que o interesse é obter casos totalmente dinâmicos.

### 3.2. Conjunto de instâncias DPDPTW propostas por Pureza e Laporte (2008)

As instâncias DPDPTW propostas por Pureza e Laporte (2008) foram geradas através da dinamização das instâncias estáticas com 100, 200 e 400 nós (50, 100 e 200 pedidos) propostas por Li e Lim (2003). Pureza e Laporte (2008) definem o instante de chegada dos pedidos como:

$$a_i = \min\{e_i, \max\{\mathcal{U}(1; 5), l_i - t_{(0,i)} - \beta\}\}, \quad (3)$$

em que, o valor  $t_{(0,i)}$  é usado como o tempo de viagem médio de um veículo que deseja coletar o pedido  $i$ . Para cada uma das instâncias PDPTW foram geradas quatro instâncias DPDPTW através da variação de  $\beta$  entre os valores 0, 100, 200 e 300.

### 3.3. Conjuntos de instâncias DPDPTW propostas por Pankratz (2005)

Pankratz (2005) criou dois conjuntos com um total de 5600 instâncias DPDPTW. Essas instâncias são baseadas nas instâncias PDPTW com 100 nós propostas por Li e Lim (2003). Pankratz (2005) dinamiza estas instâncias de duas formas diferentes, criando assim dois conjuntos distintos (P1 e P2) baseados nas mesmas instâncias estáticas. Este artigo, analisa apenas o primeiro conjunto (P1), tendo em vista que esse é o único que apresenta apenas pedidos dinâmicos.



O conjunto P1 é dinamizado calculando o último instante de chegada para cada pedido  $i \in P$  por:

$$a_i^{\text{latest}} := \min\{l_i, l_{n+i} - t_{(i,n+i)} - s_i\} - t_{(0,i)}. \quad (4)$$

Posteriormente, cada pedido recebe um instante de chegada calculado por:

$$a_i = \beta \cdot a_i^{\text{latest}}, \quad (5)$$

com  $\beta \in [0,1; 1,0]$ , com precisão de 0,1. Para cada uma das 56 instâncias PDPTW, 10 instâncias DPDPTW foram geradas, sendo cada uma gerada por um dos possíveis valores de  $\beta$ , resultando em um total de 560 instâncias dinâmicas.

### 3.4. Conjunto de instâncias DPDPTW propostas por Fabri e Recht (2006)

As instâncias propostas por Fabri e Recht (2006) foram baseadas em todas as instâncias PDPTW de Li e Lim (2003), porém, com uma quantidade de veículos reduzida. Isso acarreta em cenários em que alguns dos pedidos não conseguem ser atendidos. Para tornar as instâncias dinâmicas, eles sortearam o instante de chegada dos pedidos como:

$$a_i = \mathcal{U}(0; \min\{e_i, l_{n+i} - t_{(i,n+i)}\}). \quad (6)$$

### 3.5. Conjunto de instâncias DPDPTW propostas por Gendreau *et al.* (2006)

Gendreau *et al.* (2006) geraram suas próprias instâncias dinâmicas, sem usar um conjunto de instâncias estáticas. Os instantes de chegada dos pedidos das instâncias foram gerados pelo sorteio de uma variável aleatória com distribuição exponencial,  $\text{Exp}(\lambda)$ , em que  $\lambda$  representa a quantidade média de pedidos por intervalo de tempo. Assim, o cálculo do instante de chegada dos pedidos é dado por:

$$a_i = \begin{cases} \text{Exp}(\lambda), & \text{se } i = 0 \\ a_{i-1} + \text{Exp}(\lambda), & \text{se } i > 0. \end{cases} \quad (7)$$

Para a geração dos instantes de chegada, eles usam dois conjuntos de cinco valores diferentes para  $\lambda$ , em que cada valor é referente a um período diferente do horizonte de planejamento.

### 3.6. Conjunto de instâncias DPDPTW propostas por Mitrovic-Minic e Laporte (2004)

Mitrovic-Minic e Laporte (2004) também criaram suas próprias instâncias. Os instantes de chegada dos pedidos foram criados através da geração de uma variável aleatória com distribuição uniforme entre os instantes 0 e  $H$ :

$$a_i = \mathcal{U}(0; H). \quad (8)$$

## 4. ANÁLISE DOS CONJUNTOS DE BENCHMARK

Nesta seção, as métricas de urgência e grau de dinamismo, propostas por Van Lon *et al.* (2016), são apresentadas e utilizadas para analisar as instâncias de *benchmark* descritas na Seção 3. Esta análise tem como objetivo avaliar a dispersão dos valores de dinamismo e urgência das instâncias de cada conjunto de *benchmark*. Almeja-se com isso, possibilitar que futuras pesquisas possam se basear nos dados expostos nesta seção para escolher conjuntos de *benchmark* que

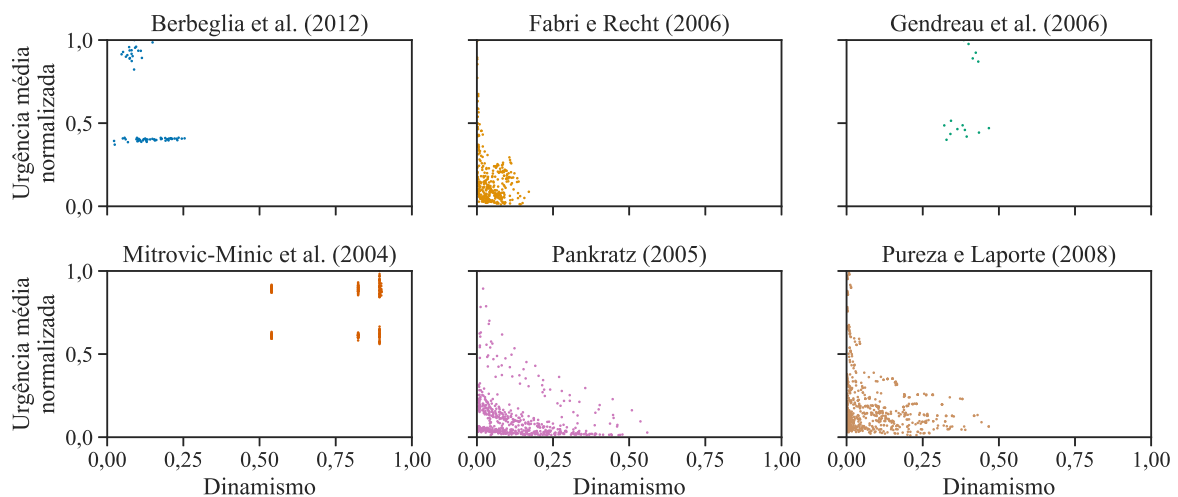
representem cenários de interesse prático para teste ou, caso necessário, selecionar um método de dinamização adequado as suas necessidades.

#### 4.1. Distribuição do grau de dinamismo e da urgência

Para Van Lon *et al.* (2016) o grau de dinamismo representa uma medida da continuidade com que os pedidos de transporte são recebidos pelo sistema, ou seja, é relativo à distribuição dos instantes de chegada dos pedidos dentro do horizonte de planejamento, quanto mais distribuídos, maior o valor do grau de dinamismo. Destaca-se que o grau de dinamismo varia de zero a um, sendo zero o cenário em que todos os pedidos acontecem no mesmo instante e um o cenário onde os pedidos estão igualmente espaçados dentro do horizonte de planejamento. Por limitações de espaço, não é possível apresentar a formulação matemática do grau de dinamismo; ver Van Lon *et al.* (2016) para mais detalhes. A urgência ( $u_i$ ) representa o tempo de reação disponível ao sistema de transporte para que ele consiga atender o pedido e é dada por (Van Lon *et al.*, 2016):

$$u_i := l_i - a_i. \quad (9)$$

Cada um dos gráficos apresentados na Figura 1 representa um conjunto de instâncias de *benchmark* diferente. Cada ponto no gráfico corresponde aos valores de urgência média normalizada (eixo vertical) e dinamismo (eixo horizontal) de uma das instâncias desse conjunto. A normalização da urgência média é feita de maneira que o valor zero represente uma urgência média igual a zero e o valor um represente a maior urgência média encontrada dentro do conjunto de instâncias de *benchmark* em questão. A figura mostra o acúmulo dos pontos, o que demonstra a falta de diversidade entre instâncias de um mesmo conjunto de *benchmark*, para os critérios considerados.



**Figura 1:** Gráfico de dispersão da urgência média e do dinamismo de cada conjunto de *benchmark*

A Figura 2 mostra os mesmos valores de dinamismo exibidos na Figura 1, entretanto em forma de diagrama de caixas, em que 50% dos valores de dinamismo de cada conjunto de *benchmark* estão contidos nas caixas. A mediana dos valores é demarcada por um risco vertical dentro desta caixa e os limites inferiores (*LI*) e superiores (*LS*) são demarcados pelos segmentos de reta vertical externos às caixas, cujos valores podem ser calculados por:

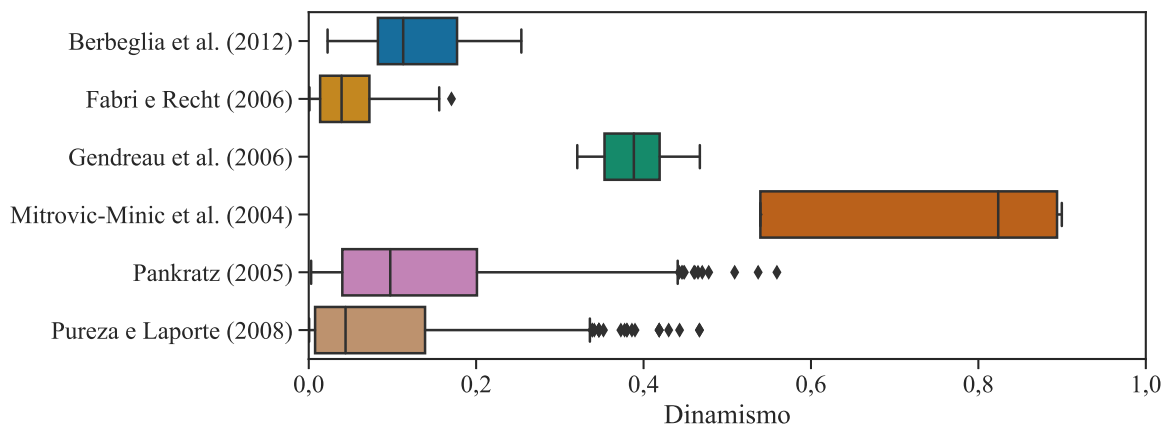
$$LI = Q_1 - 1,5 \cdot AIQ, \quad (10)$$

$$LS = Q_3 + 1,5 \cdot AIQ, \quad (11)$$

em que,

$$AIQ = Q_3 - Q_1, \quad (12)$$

$Q_1$  representa o primeiro quartil, correspondendo a 25% dos menores valores,  $Q_3$  representa o terceiro quartil, correspondendo a 75% dos menores valores e  $AIQ$  representa a amplitude interquartil. Ainda no diagrama de caixas, podem ser encontrados pequenos losangos, indicando valores não contidos no intervalo  $[LI; LS]$ .



**Figura 2:** Diagrama de caixas dos valores de dinamismo de cada conjunto de *benchmark*

Pode-se observar que quatro dos seis conjuntos estudados possuem medianas menores que 0,1 e uma alta concentração de instâncias com dinamismo menor que 0,2, indicando uma falta de diversificação das instâncias desses quatro conjuntos. Vale destacar que quanto maior o dinamismo, maior a quantidade de vezes que necessita-se usar o algoritmo de otimização. Portanto, conjuntos de *benchmark* com baixo valor de dinamismo podem beneficiar algoritmos que retornem bons resultados ao custo de um longo tempo de computação.

Outro fator interessante a se destacar é a escassez de instâncias com dinamismo entre 0,45 e 0,6. Van Lon *et al.* (2016) afirmam que este intervalo de valores de dinamismo ocorre em cenários gerados por distribuições Poisson homogêneas. Tendo em vista que as chegadas de pedidos de viagem em sistemas de DARP acontecem de forma a se assemelhar com uma distribuição de Poisson homogênea (Schilde *et al.*, 2011), a falta de instâncias com esses valores de dinamismo prejudica a análise de cenários realísticos.

#### 4.2. Correlação entre limites inferiores das janela de tempo de coleta e os instantes de chegada dos pedidos

Pela descrição de dinamismo brevemente apresentada na Subseção 4.1, percebe-se que os intervalos entre os instantes de chegadas dos pedidos são os principais fatores determinantes do valor de dinamismo de uma instância. Portanto, para que um conjunto de *benchmark* possua



instâncias cujos valores de dinamismo sejam distintos entre si, é necessário que a distribuição dos instantes de chegada seja diferente entre instâncias (Van Lon *et al.*, 2016).

Entretanto, na Seção 3, percebe-se que grande parte dos conjuntos de *benchmark* apresentados usam um único método de dinamização, não possibilitando a diversificação do tamanho dos intervalos de tempo entre instâncias. A única exceção é o conjunto de instâncias proposto por Pankratz (2005) que varia o valor  $\beta$  garantindo a geração de instâncias cujos instantes de chegadas diferem entre si. Porém, mesmo variando esse valor, não foi alcançada uma variedade muito grande de dinamismo entre cenários (Figuras 1 e 2).

Dentre os métodos de dinamização apresentados na Seção 3 é comum a utilização dos limites da janela de tempo de coleta para o cálculo dos instantes de chegada dos pedidos. Isso faz com que a distribuição das janelas de tempo das instâncias estáticas influenciem altamente na distribuição dos instantes de chegadas nos pedidos. Portanto, se a distribuição dos limites das janelas de tempo possuir acúmulo de valores, existe a possibilidade desse acúmulo ser passado para os instantes de chegada dos pedidos.

As Figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, as distribuições dos limites inferiores das janelas de tempo de coleta e os instantes de chegadas dos pedidos de cada um dos conjuntos de *benchmark*, todos normalizados pelos horizontes de planejamento de suas respectivas instâncias. Nota-se que, em sua maioria, os valores tendem a acumular no início do horizonte de planejamento e que a distribuição dos valores é semelhante entre figuras.

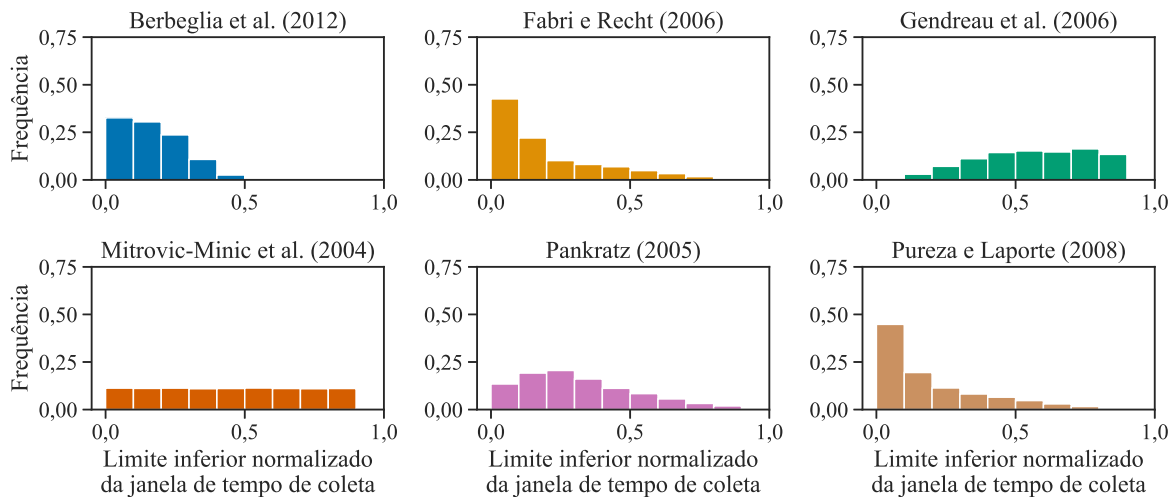
A Tabela 1 apresenta, os valores das correlações entre os instantes de chegada dos pedidos e os limites inferiores das janelas de tempo de coleta dos pedidos. Percebe-se uma correlação alta para as instâncias de Berbeglia *et al.* (2012), Mitrovic-Minic e Laporte (2004), Pankratz (2005) e Pureza e Laporte (2008). Já os conjuntos propostos por Fabri e Recht (2006) e Gendreau *et al.* (2006) possuem uma correlação baixa entre estes dois parâmetros, que pode ser explicada pelo uso de variáveis aleatórias de distribuição uniforme no processo de dinamização ou criação das instâncias.

**Tabela 1:** Valores de correlação entre os instantes de chegadas normalizados e os limites inferiores normalizados das janelas de tempo de coleta

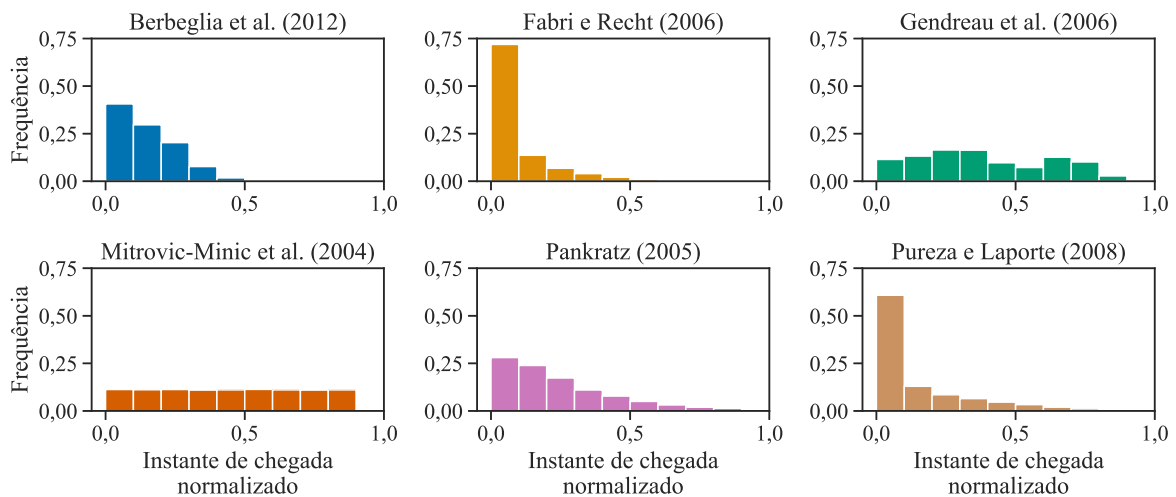
Conjunto de <i>benchmark</i>	$r$
Berbeglia <i>et al.</i> (2012)	0,95
Fabri e Recht (2006)	0,78
Gendreau <i>et al.</i> (2006)	0,73
Mitrovic-Minic e Laporte (2004)	1,00
Pankratz (2005)	0,81
Pureza e Laporte (2008)	0,89

#### 4.3. Presença de pedidos estáticos

A análise dos valores dos instantes de chegada de cada conjunto mostra que nos conjuntos propostos por Berbeglia *et al.* (2012), Fabri e Recht (2006) e Pureza e Laporte (2008) uma grande quantidade de pedidos chegam no instante zero e, por definição, são considerados pedidos estáticos. A Tabela 2 mostra a porcentagem de pedidos com instante de chegada igual



**Figura 3:** Histograma dos limites inferiores das janelas de tempo de coleta de cada conjunto de *benchmark*. Valores normalizados pelo horizonte de planejamento



**Figura 4:** Histograma dos instantes de chegada dos pedidos de cada conjunto de *benchmark*. Valores normalizados pelo horizonte de planejamento

a zero para cada um dos conjuntos de *benchmark*.

Acredita-se que este efeito colateral seja também causado pelo uso de métodos de dinamização baseado nos limites da janela de tempo de entrega e coleta aliado ao uso de instâncias estáticas que apresentam uma distribuição acumulada destes valores, principalmente no início do horizonte de planejamento. Portanto, ao usar-se os métodos de dinamismo deve-se ter cuidado para que estes não gerem demasiados pedidos estáticos, o que pode atrapalhar a análise de algoritmos feitos para atender pedidos dinâmicos.

Destaca-se que esses pedidos estáticos podem também representar uma condição inicial ao sistema. Mesmo assim, é importante perceber que alguns métodos de geração de instâncias dinâmicas possuem uma maior probabilidade de gerar condições iniciais com maior número de

pedidos estáticos.

**Tabela 2:** Porcentagem de pedidos com instante de chegada igual a zero

Conjunto de <i>benchmark</i>	%
Berbeglia <i>et al.</i> (2012)	10,0
Fabri e Recht (2006)	20,3
Gendreau <i>et al.</i> (2006)	0,7
Mitrovic-Minic e Laporte (2004)	0,3
Pankratz (2005)	0,0
Pureza e Laporte (2008)	19,5

## 5. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou, de forma sucinta, conjuntos de instâncias de *benchmark* para o DDARP e o DPDPTW e analisou os métodos usados para a distribuição temporal dos instantes de chegadas dos pedidos usando, para isso, as métricas de dinamismo e urgência propostas por Van Lon *et al.* (2016). Através dessa análise, observou-se que os conjuntos possuem pouca variabilidade em relação aos valores de dinamismo e urgência, principalmente devido ao uso de métodos de dinamização simples e ao uso de instâncias estáticas com janelas de tempo de coleta acumuladas no início do horizonte de planejamento. Essa é uma característica não desejada para instâncias de *benchmark*.

Conjuntos de instâncias com grande variedade de características ajudam a testar diferentes aspectos dos algoritmos e podem favorecer o desenvolvimento de métodos mais flexíveis, que poderão ser usados em situações reais com menores riscos de falhas (Uchoa *et al.*, 2017).

Espera-se que este artigo sirva de base para demais pesquisadores da área de roteamento dinâmico de veículos que tenham interesse em estudar o comportamento de algoritmos de solução para o DDARP e DDPDTW através de simulações computacionais de cenários diversificados. Todos os dados das instâncias estudadas neste artigo estão disponíveis para consulta e utilização, assim como todos o código usado para a análise das instâncias (Eccel, 2019).

Para trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação dos métodos de dinamização estudados em diferentes instâncias estáticas, desse modo possibilitando uma melhor comparação do que é influência gerada pelo próprio método e o que é gerado pelas características das instâncias estáticas. Outra proposta interessante é uma análise dos fatores espaciais das instâncias, com relação a distribuição dos locais de coleta e entrega dos pedidos.

### Agradecimentos

O segundo autor agradece ao CNPq.

### REFERÊNCIAS

- Agatz, N.; A. Erera; M. Savelsbergh e X. Wang (2012) Optimization for Dynamic Ride-Sharing: A Review. *European Journal of Operational Research*, v. 223, n. 2, p. 295–303.
- Alonso-González, M. J.; T. Liu; O. Cats; N. Van Oort e S. Hoogendoorn (2018) The Potential of Demand-Responsive Transport as a Complement to Public Transport: An Assessment Framework and an Empirical Evaluation. *Transportation Research Record*, p. 879–889.

- Berbeglia, G.; J.-F. Cordeau e G. Laporte (2012) A Hybrid Tabu Search and Constraint Programming Algorithm for the Dynamic Dial-a-Ride Problem. *INFORMS Journal on Computing*, v. 24, n. 3, p. 343–355.
- Cordeau, J.-F. e G. Laporte (2003) A Tabu Search Heuristic for the Static Multi-Vehicle Dial-a-Ride Problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 37, n. 6, p. 579–594.
- Dumas, Y.; J. Desrosiers e F. Soumis (1991) The Pickup and Delivery Problem with Time Windows. *European Journal of Operational Research*, v. 54, n. 1, p. 7–22.
- Eccel, R. A. L. (2019) *renan-eccel/instances-DDARP-DPDPTW: v1.1*. URL: <https://zenodo.org/record/3403184> (acedido em 12/09/2019).
- Fabri, A. e P. Recht (2006) On Dynamic Pickup and Delivery Vehicle Routing with Several Time Windows and Waiting Times. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 40, n. 4, p. 335–350.
- Fulton, L.; J. Mason e D. Meroux (2017) *Three Revolutions in Urban Transportation*. UC Davis.
- Gendreau, M.; F. Guertin; J.-Y. Potvin e R. Séguin (2006) Neighborhood Search Heuristics for a Dynamic Vehicle Dispatching Problem with Pick-Ups and Deliveries. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 14, n. 3, p. 157–174.
- Li, H. e A. Lim (2003) A Metaheuristic for the Pickup and Delivery Problem with Time Windows. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, v. 12, n. 2, p. 173–186.
- Maciejewski, M.; J. Bischoff; S. Hörl e K. Nagel (2017) Towards a Testbed for Dynamic Vehicle Routing Algorithms. *Highlights of Practical Applications of Cyber-Physical Multi-Agent Systems*. Ed. por J. Bajo; Z. Vale; K. Hallenborg; A. P. Rocha; P. Mathieu; P. Pawlewski; E. Del Val; P. Novais; F. Lopes; N. D. Duque Méndez; V. Julián e J. Holmgren. Communications in Computer and Information Science. Springer International Publishing, p. 69–79.
- Mendoza, J. E.; C. Guéret; M. Hoskins; H. Lobit; V. Pillac; T. Vidal e D. Vigo (2014) VRP-REP: The Vehicle Routing Problem Repository. Third meeting of the EURO Working Group on Vehicle Routing and Logistics Optimization (VeRoLog). Oslo, Norway.
- Mitrovic-Minic, S. e G. Laporte (2004) Waiting strategies for the dynamic pickup and delivery problem with time windows. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 38, n. 7, p. 635–655.
- Pankratz, G. (2005) Dynamic Vehicle Routing by Means of a Genetic Algorithm. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 35, n. 5, p. 362–383.
- Pankratz, G. e V. Krypczyk (2009) *Benchmark Data Sets for Dynamic Vehicle Routing Problems*. URL: [https://web.archive.org/web/20120622022350/http://www.fernuni-hagen.de:80/WINF/inhalte/benchmark\\_data.htm](https://web.archive.org/web/20120622022350/http://www.fernuni-hagen.de:80/WINF/inhalte/benchmark_data.htm) (acedido em 21/06/2018).
- Parragh, S. N.; K. F. Doerner e R. F. Hartl (2008) A Survey on Pickup and Delivery Problems: Part II: Transportation Between Pickup and Delivery Locations. *Journal für Betriebswirtschaft*, v. 58, n. 2, p. 81–117.
- Pillac, V.; M. Gendreau; C. Guéret e A. L. Medaglia (2013) A review of Dynamic Vehicle Routing Problems. *European Journal of Operational Research*, v. 225, n. 1, p. 1–11.
- Psaraftis, H. N. (1988) Dynamic Vehicle Routing Problems. In: *Vehicle Routing: Methods and Studies*. North-Holland, p. 223–248.
- Psaraftis, H. N.; M. Wen e C. A. Kontovas (2015) Dynamic Vehicle Routing Problems: Three Decades and Counting. *Networks*, v. 67, n. 1, p. 3–31.
- Pureza, V. e G. Laporte (2008) Waiting and Buffering Strategies for the Dynamic Pickup and Delivery Problem with Time Windows. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, v. 46, n. 3, p. 165–175.
- Ropke, S.; J.-F. Cordeau e G. Laporte (2007) Models and Branch-and-Cut Algorithms for Pickup and Delivery Problems with Time Windows. *Networks*, v. 49, n. 4, p. 258–272.
- Schilde, M.; K. F. Doerner e R. F. Hartl (2011) Metaheuristics for the Dynamic Stochastic Dial-a-Ride Problem with Expected Return Transports. *Computers & Operations Research*, v. 38, n. 12, p. 1719–1730.
- Uchoa, E.; D. Pecin; A. Pessoa; M. Poggi; T. Vidal e A. Subramanian (2017) New benchmark instances for the Capacitated Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, v. 257, n. 3, p. 845–858.
- Van Lon, R. R. R. S.; E. Ferrante; A. E. Turgut; T. Wenseleers; G. Vanden Berghe e T. Holvoet (2016) Measures of Dynamism and Urgency in Logistics. *European Journal of Operational Research*, v. 253, n. 3, p. 614–624.

---

Renan Artur Lopes Eccel (renan.eccel@gmail.com)

Rodrigo Castelan Carlson (rodrigo.carlson@ufsc.br)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina  
Florianópolis, SC, 88040-900, Brasil