



# ConBRepro

X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



02 a 04  
de dezembro 2020

## Problema dial-a-ride: compartilhamento entre gêneros

**Hellen Cristina Spengler**

Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia/GTAO – Universidade Federal do Paraná

**Gustavo Valentim Loch**

Departamento de Administração – Universidade Federal do Paraná

**Cassius Tadeu Scarpin**

Departamento de Administração – Universidade Federal do Paraná

**Resumo:** O problema de Dial-a-Ride (DARP) trata de ambientes de compartilhamento de viagens entre clientes atendidos por uma frota de veículos, tendo os pontos de embarque e desembarque especificados previamente. Exemplos de aplicações reais desse problema já ocorrem com as atuais viagens compartilhadas por aplicativo. Entretanto, os índices de violência contra mulher no trânsito evidenciam possíveis situações adversas em todos os níveis de transporte. Portanto, o trabalho propõe uma política de separação dos clientes por gênero, para viagens que são compartilhadas. Esta política é considerada na elaboração do DARP, de modo a formular um modelo e aplicar uma metaheurística simulated annealing, buscando soluções com tempo de resolução aceitáveis para implementação online.

**Palavras-chave:** Dial-a-Ride Problem, Política de Gênero, Simulated Annealing.

## Dial-a-Ride Problem: sharing between genders

**Abstract:** The Dial-a-Ride (DARP) problem deals with travel sharing environments between customers served by a fleet of vehicles, with pick-up and delivery points previously specified. Examples of real applications of this problem already occur with current trips shared by travel by app. However, the rates of violence against women in traffic show possible adverse situations at all levels of transport. Therefore, the work proposes a policy of separating customers by gender, for trips that are shared. This policy is considered in the preparation of the DARP, to formulate a model and apply a simulated annealing metaheuristic, seeking solutions with acceptable resolution times for online implementation.

**Keywords:** Dial-a-Ride Problem, Gender Policy, Simulated Annealing

### 1. Introdução

A violência contra a mulher no trânsito é um fator preocupante no Brasil, segundo a pesquisa do Instituto Patrícia Galvão/Locomotiva (2018), 97% das entrevistadas já sofreram importunação em meio de transporte. Só recentemente, em 2018, foi aprovada a Lei N° 13.718 (2018), que tipifica a importunação sexual, que se difere do assédio por não apresentar relação hierárquica ou de subordinação, exemplos tais como olhares

insistentes, comentários de cunho sexual, insultos, beijo roubado ou passar a mão em partes íntimas.

Apesar desse cenário, a atuação das mulheres no mercado de trabalho aumentou e, conseqüentemente, a necessidade do uso de transporte público. Em geral, as opções são o transporte público (ônibus, metrô, trens), o serviço de táxi e mais recentemente o transporte por aplicativo. Ainda segundo a pesquisa do Instituto Patrícia Galvão/Locomotiva (2018), o transporte por aplicativo é considerado o mais seguro, por oferecer identificação e maior facilidade de denúncia, de modo que 3 em cada 4 entrevistadas se sentem seguras ao utilizá-lo.

Atualmente um novo tipo de transporte vem se desenvolvendo, o transporte compartilhado por aplicativo. Neste tipo de transporte é possível compartilhar uma viagem com um ou mais passageiros que possuem rotas semelhantes por meio do suporte de aplicativos. Esta modalidade traz benefícios econômicos para os passageiros e benefícios de menor impacto ambiental, uma vez que aumenta a taxa de ocupação dos veículos.

O problema que trata do transporte compartilhado entre pessoas para uma frota de veículos se chama *Dial-a-Ride Problem* (DARP), e vem sendo estudado por diversos trabalhos na literatura. O trabalho de Masmoudi *et al.* (2018) propõe aplicação do DARP a ambientes com veículos elétricos autônomos. Em Telleza *et al.* (2019) é apresentado o DARP para um sistema de veículos adaptados, integrando passageiros cadeirantes. Em 2020, o trabalho de Factorovich *et al.* (2020) propôs uma formulação do problema Pickup and Delivery (PDP), uma versão anterior do DARP, que compreende restrições de incompatibilidade. Tais restrições de incompatibilidade podem ser adaptadas para cenários onde há a necessidade de separação de passageiros por algum critério, tal como separar o público feminino do masculino num cenário de compartilhamento. Entretanto, a formulação do modelo exato proposto por Factorovich (2020) ainda apresenta demora na resolução e carece de alternativas para sistemas de resposta em tempo real (online).

Desse modo, neste trabalho é formulada uma metaheurística para o DARP aplicado ao cenário de políticas de separação entre gêneros em viagens compartilhadas. Ressalta-se que neste trabalho são tomados somente os gêneros feminino e masculino, por redução da complexidade dos ambientes de testes gerados. Assim, a partir das políticas propostas é analisado o desempenho e característica de lucro, para cenários com diferentes proporções de clientes do gênero feminino.

A seção 2 apresenta a formulação do problema DARP tradicional e com gênero, além de um exemplo de solução para o problema DARP com gênero. A seção 3 detalha a metaheurística aplicada ao problema DARP com gênero, proposto no trabalho. Os resultados numéricos da implementação para instâncias de pequeno porte são delineados na seção 4. Por fim, seguem as seções de Conclusão, Agradecimentos e Referências.

## **2. Formulação do Problema**

Nesta seção é descrito o problema DARP e sua formulação matemática considerando as informações de gênero dos clientes, bem como apresentado uma representação de uma solução factível para o problema.

### **2.1 Modelo Dial-a-Ride**

O DARP é uma extensão do Problema de Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo, do inglês *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW). Seu objetivo é minimizar o custo de  $k$  rotas para o atendimento dos usuários, cada um tendo um pedido de viagem

com pontos de embarque e desembarque especificados. Em cada rota é permitido que as viagens sejam compartilhadas entre os usuários em um mesmo veículo  $k$  e ao mesmo tempo. Além disso, todos os veículos da frota devem partir do depósito de origem 0 e chegar ao fim da rota no depósito de destino  $n + 1$ . O grafo completo e direcionado  $G = (N, A)$  define o DARP, em que  $A$  define o conjunto dos arcos e  $N = P \cup D \cup \{0, 2n + 1\}$  representa o conjunto de nós, com  $P = \{1, \dots, n\}$  sendo o conjunto de pontos de embarque,  $D = \{n + 1, \dots, 2n\}$  o conjunto de pontos de desembarque e 0 e  $2n + 1$  os depósitos de origem e destino da frota de veículos.

Para cada veículo  $k \in K$ , em que  $K$  é o conjunto de veículos da frota, é associada uma capacidade  $Q_k$  e uma duração total  $T_k$  que a rota do veículo  $k$  não pode ultrapassar. Também, para cada nó  $i \in N = \{0, 1, \dots, 2n + 1\}$  tem-se uma carga  $q_i$  para ser carregada/descarregada e uma duração de atendimento  $d_i$  não negativa, onde se estabelecem as relações para  $i = \{1, \dots, n\}$ :  $q_0 = -q_{n+1}$  e  $d_0 = d_{2n+1} = 0$ . Também é definida uma janela de tempo  $[e_i, l_i]$  que delimita o início de atendimento em cada nó  $i \in N$ . Ainda, para cada arco  $(i, j) \in A$  é relacionado os valores de tempo de viagem  $t_{ij}$  e de custo  $c_{ij}$ . Por fim, seja  $L$  o tempo máximo de viagem para o usuário.

Quanto as variáveis do problema, para cada arco  $(i, j) \in A$  e para cada veículo  $k \in K$ , define-se a variável binária  $x_{ij}^k$ , assumindo valor 1 se o veículo passar pelo arco  $(i, j)$  e 0 caso contrário. Para cada nó  $i \in N$  e cada veículo  $k \in K$ , seja  $B_i^k$  o instante em que o veículo  $k$  inicia o serviço em  $i$  e  $Q_i^k$  a carga do veículo  $k$  após visitar o nó  $i$ . Para cada usuário  $i$ , seja  $L_i^k$  o tempo do usuário  $i$  no veículo  $k$ . Portanto, a formulação inteira-mista do DARP, proposta por Cordeau (2006) segue as Equações 1 – 14:

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (1)$$

$$\text{Sujeito à,} \quad \sum_{k \in K} \sum_{j \in N} x_{ij}^k = 1, \quad \forall i \in P \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k - \sum_{j \in N} x_{n+i,j}^k = 0, \quad \forall i \in P, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0j}^k = 1, \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ji}^k - \sum_{j \in N} x_{ij}^k = 0, \quad \forall i \in P \cup D, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,2n+1}^k = 1, \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$B_j^k \geq (B_i^k + d_i + t_{ij})x_{ij}^k, \quad \forall i, j \in N, k \in K \quad (7)$$

$$Q_j^k \geq (Q_i^k + q_i)x_{ij}^k, \quad \forall i, j \in N, k \in K \quad (8)$$

$$L_i^k = B_{n+i}^k - (B_i^k + d_i), \quad \forall i \in P, k \in K \quad (9)$$

$$B_{2n+1}^k - B_0^k \leq T_k, \quad \forall k \in K \quad (10)$$

$$e_i \leq B_i^k \leq l_i, \quad \forall i \in N, k \in K \quad (11)$$

$$t_{i,n+i} \leq L_i^k \leq L, \quad \forall i \in P \quad (12)$$

$$\max\{0, q_i\} \leq \min\{Q_k, Q_k + q_k\}, \quad \forall i \in N, k \in K \quad (13)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad \forall i \in N, k \in K \quad (14)$$

A função objetivo (1) minimiza o custo total das  $k$  rotas. Os conjuntos de restrições (2) e (3) garantem que cada um dos  $n$  pedidos de viagens sejam atendidos apenas uma vez em seu embarque e desembarque, e também por apenas um veículo. Os conjuntos de restrições (4)-(6) garantem o fluxo das  $k$  rotas, iniciando no depósito de origem 0 e terminando no depósito de destino  $n + 1$ . A consistência das variáveis de tempo e carga são mantidas por (7)-(8). O tempo  $L_i^k$  de permanência do usuário no veículo  $k$  é definido por (9) e delimitado por (12). Finalmente, o conjunto de restrições (10), (11) e (13) limitam a duração de cada rota, janela de tempo e capacidade, respectivamente.

Como os conjuntos de restrições (7) e (8) são não lineares, é necessário definir as variáveis  $M_{ij}^k \geq \max\{0, l_i + d_i + t_{ij} - e_j\}$  e  $W_{ij}^k \geq \min\{Q_k, Q_k + q_i\}$ , que permitem as seguintes linearizações:

$$B_j^k \geq B_i^k + d_i + t_{ij} - M_{ij}^k(1 - x_{ij}^k) \quad (15)$$

$$Q_j^k \geq Q_i^k + q_j - W_{ij}^k(1 - x_{ij}^k) \quad (16)$$

Ainda, segundo o trabalho de Factorovich (2020), é possível estabelecer restrições de incompatibilidade para os usuários, baseado na inserção de uma nova variável  $z_{ij}^k$ , que assume valor 1 caso o nó  $j$  esteja entre o caminho de  $i$  e seu desembarque  $i + n$ . Assim, são adicionadas um novo conjunto de restrições de 17 – 21:

$$x_{ij}^k \leq z_{ij}^k, \quad \forall i \in P, j \in (P \cup D), j \neq i, i + n \quad (17)$$

$$x_{jt}^k \leq 1 - z_{ij}^k, \quad \forall i \in P, j \in P, j \neq i \quad (18)$$

$$z_{ij}^k + x_{js}^k + x_{sj}^k \leq 1 + z_{is}^k, \quad \forall i \in P, j, s \in (P \cup D), s \neq i, i + n, j \neq s \quad (19)$$

$$z_{ij}^k = z_{i,j+n}^k = 0, \quad \forall i, j \in P, (i, j) \in A \quad (20)$$

$$z_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad \forall i \in P, j \in (P \cup D), j \neq i, i + n \quad (21)$$

## 2.2 Representação de uma solução para o DARP com gênero

A solução para o DARP pode ser estruturada pelas informações iniciais de quantidade de veículos  $|K|$  e de quantidade de clientes  $n$ . Assim, para cada veículo  $k$  da frota é associada uma rota. Os atendimentos dos clientes são distribuídos pelas rotas, de modo que cada cliente tem ambos pontos de embarque e desembarque atendidos pelo mesmo veículo. Cada rota inicia no depósito de origem 0 e termina no depósito de destino  $2n + 1$ . Ainda, a solução deve satisfazer os critérios apresentados pelo problema: janela de tempo para os nós do grafo, tempo máximo de viagem, capacidade dos veículos. Também para o caso do DARP com gênero, há a informação inicial da identificação de gênero por cliente, de modo que é estabelecida uma política de atendimento em relação ao gênero, no caso não compartilhar viagens entre homens e mulheres.

Logo, é proposto um exemplo simplificado do DARP. Inicialmente, toma-se por  $n = 8$  o número de clientes e por  $|K| = 3$  o número de veículos da frota, com capacidade de 3 assentos. A Tabela 1 traz os índices de nó de embarque e desembarque para cada cliente, ainda se tem que o depósito final é associado pelo índice  $2n + 1 = 2(8) + 1 = 17$ . Cada

cliente é identificado por um gênero, sendo reduzido o ambiente apenas para os gêneros masculino e feminino.

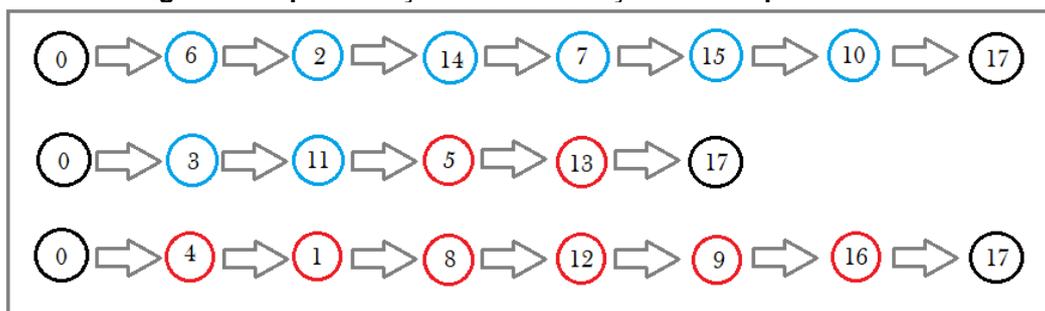
**Tabela 1 – Representação dos índices dos nós de embarque e desembarque e gêneros dos clientes**

Cliente	Nó de Embarque	Nó de desembarque	Gênero
1	1	9	Feminino
2	2	10	Masculino
3	3	11	Masculino
4	4	12	Feminino
5	5	13	Feminino
6	6	14	Masculino
7	7	15	Masculino
8	8	16	Feminino

Fonte: Autoria própria

Portanto, a Figura 1 apresenta um exemplo de solução factível para o DARP, em que os círculos representam os nós do grafo (pontos de embarques, desembarques e depósitos) e as flechas identificam os arcos ativos do grafo, representando dois atendimentos consecutivos realizados pelo veículo da rota. Os círculos de cor azul representam os clientes que se identificam pelo gênero masculino e os círculos de cor vermelha representam clientes que se identificam pelo gênero feminino, enquanto os círculos de cor preta representam os depósitos iniciais e finais.

**Figura 1: Representação de uma solução factível para o DARP**



Fonte: Autoria própria

Nota-se que houveram clientes que não tiveram sua viagem compartilhada, como o cliente 3, que possui nó de embarque  $i = 3$  e de desembarque 11. Seu atendimento é indicado pela rota 2 com os arcos ativados  $(0,3)$  e  $(3,11)$ , significando que o veículo 2 realizou o percurso  $0 - 3 - 11$ , ou seja, saiu diretamente do depósito de origem 0 para o nó de embarque 3 e na sequência para o nó de desembarque 11, sem antes ter embarcado outro cliente. O mesmo acontece com o cliente 5.

Entretanto, houveram clientes que tiveram suas rotas compartilhadas, como o caso dos clientes 4, 1 e 8, atendidos pela rota 3. Observe-se que o veículo 3 realizou três embarques consecutivos, indicados pelos arcos  $(4,1)$  e  $(1,8)$ .

Quanto a política de separação entre gêneros, observa-se que em todos os casos de compartilhamento de viagem houve a separação entre compartilhamento apenas entre o gênero feminino (clientes 1, 4 e 8) ou masculino (clientes 2, 6 e 7).

Por fim, ressalta-se que no exemplo não foram abordadas outras restrições do DARP associadas as variáveis de tempo, como janela de tempo e tempo máximo de viagem para cliente e motorista. Ainda, salienta-se que cada veículo deve atender pelo menos um pedido, mas não há número máximo de pedidos a serem atendidos por rota do veículo.

### 3. Metaheurística Simulated Annealing para o DARP com restrições de gênero

A metaheurística Simulated Annealing é um algoritmo heurístico que busca soluções de mínimo custo para problemas combinatórios (Yu *et al.*, 2018, p. 4). Seu processo baseia-se no arrefecimento simulado, que é apresentado na Tabela 2, pelo pseudocódigo do algoritmo tradicional.

Neste algoritmo uma temperatura inicial  $t$ , um método de parada e uma função custo  $F$ . Primeiramente, a temperatura  $T$  é atualizada para temperatura inicial  $t$  (linha 2), e então calculada a solução  $s$  e a solução corrente  $s^*$  pelo método de Busca Local (linhas 3 e 4). A partir desse valor calcula-se a diferença de custo entre estas duas soluções,  $s$  e  $s^*$  (linha 5), obtendo o valor de  $\Delta F = F(s^*) - F(s)$ . O valor de  $\Delta F$  é comparado com um valor fixo inicial ( $e$ ), de modo que enquanto o método de parada não é satisfeito ( $\Delta F > e$ ), são repetidas as operações entre as linhas 6 – 18 do Algoritmo 1. Assim, caso o custo dessa nova solução  $s$  seja menor que o custo da solução corrente  $s^*$  (linha 7), a nova solução  $s$  é admitida como solução corrente  $s^*$  (linha 8). Caso contrário, em que esta nova solução  $s$  tenha maior custo do que a solução corrente  $s^*$  (linha 9), então esta mesma solução  $s$  poderá ainda ser admitida como corrente segundo a função de *Boltzman* (linha 11). Após as comparações, a temperatura  $T$  é decrementada pelo fator  $\alpha$  (linha 15), uma nova solução  $s$  é obtida pelo método de Busca Local (linha 16) e é novamente calculado o valor de  $\Delta F$  (linha 17). Ao terminar o processo entre as linhas 6 – 18, retorna-se ao método de parada (linha 6), caso seja afirmativo que o processo entre as linhas 6 – 18 é novamente repetido, caso contrário encaminha-se para o fim do algoritmo e retorna-se a solução corrente atual  $s^*$  (linha 19).

**Tabela 2 – Pseudocódigo da metaheurística simulated annealing**

---

**Algoritmo Simulated Annealing**

---

```
1: Iniciar: Temperatura inicial  $t$ , Custo  $F$ , diferença mínima  $e$ ;  
2:  $T \leftarrow t$   
3:  $s^* \leftarrow BuscaLocal()$   
4:  $s \leftarrow BuscaLocal()$   
5:  $\Delta F \leftarrow F(s^*) - F(s)$   
6: Enquanto ( $\Delta F > e$ )  
7:   Se ( $\Delta F < 0$ )  
8:      $s^* \leftarrow s$   
9:   Senão  
10:     $x \leftarrow Random(0,1)$   
11:    Se ( $x < \exp(-\Delta F/T)$ )  
12:       $s^* \leftarrow s$   
13:    Fim Se  
14:  Fim Se  
15:   $T \leftarrow \alpha T$   
16:   $s \leftarrow BuscaLocal()$   
17:   $\Delta F \leftarrow F(s^*) - F(s)$   
18: Fim Enquanto  
19: Retornar  $s^*$ 
```

---

Fonte: Adaptado de Yu *et al.* (2018)

Na Busca Local, apresentada pelo Tabela 3, são dados como entrada uma solução  $s$  e um número  $m$ , sendo  $m$  um valor menor que os  $n$  pedidos do problema. Assim, são escolhidos  $m$  pedidos aleatoriamente (linha 2) e retirados de suas respectivas rotas (linha 3). Para cada pedido é calculada a posição de reinserção (tanto para o embarque como para o desembarque) que traga menor impacto no custo da solução (linha 4). Logo, são reinseridos os  $m$  pedidos nas suas respectivas posições calculadas (linha 5). Por fim, é avaliada se

esta solução é factível segundo restrições de tempo, capacidade e gênero (linha 6), e caso não seja repete-se o processo retornando ao passo 2 (linha 2).

**Tabela 3 – Pseudocódigo do algoritmo de Busca Local empregado na metaheurística SA**

<b>Algoritmo Simulated Annealing</b>	
1:	Iniciar: solução $s$ ; número de pontos $m$ ;
2:	Escolher aleatoriamente $m$ pontos de $s$ ;
3:	Retirar os pedidos de viagens representados pelos $m$ pontos;
4:	Calcular a posição de inserção de menor custo para cada pedido;
5:	Reinsere os pedidos nas posições de menor custo;
6:	Se (nova solução não é factível)
7:	Voltar ao passo 2;
8:	Fim Se
9:	Retornar solução $s$ .

Fonte: Autoria própria

#### 4. Resultados Computacionais

Os testes foram executados utilizando um computador com AMD Ryzen 5 3500U, 2.1GHz e 8Gb de RAM. A simulação foi baseada na linguagem `c#`.

O conjunto de instâncias, chamado de  $a$ , foi adaptado do trabalho de Cordeau (2006). A alteração feita no conjunto de instâncias  $a$  se delimitou em adicionar a informação de gênero para cada cliente, sendo considerado apenas os gêneros masculino e feminino para simplificação do ambiente de teste. Ainda, foi adotada a política de total separação entre os clientes de gênero feminino e masculino para compartilhamento de viagens, durante todo o período de simulação. A proporção de gênero feminino foi variada para 20% e 40% do total de clientes.

Originalmente o conjunto de instâncias  $a$  traz as informações dos pedidos, da frota de veículos que irá atendê-los e dos parâmetros que envolvem o problema. Conforme a Tabela 4, são apresentadas as informações do número de veículos da frota,  $K = \{2, 3, 4\}$ , do número de pedidos de viagens  $n = \{16, 18, 20, 24, 30, 32\}$ , da duração total que a rota que não pode ultrapassar  $T$  e do tempo máximo de viagem  $L$  para os usuários. Todos os veículos têm capacidade de carregamento de  $Q_k = 3$  e carga por pedido de viagem  $q_i = 1$ . Ainda, o conjunto  $a$  possui coordenadas dos pedidos que foram geradas randomicamente dentro do quadrado  $[-10, 10] \times [-10, 10]$ , e o depósito inicial e final representam o mesmo local no centro do quadrado. Além disso, tem-se que  $c_{ij} = t_{ij} = d_{ij}$ , sendo  $d$  a distância euclidiana para o arco  $(i, j) \in A$ .

**Tabela 4 – Valores dos parâmetros do conjunto de instâncias  $a$**

<b>Instância</b>	<b>K</b>	<b><math>n</math></b>	<b>T</b>	<b>Q</b>	<b>L</b>
<i>a2_16</i>	2	16	480	3	30
<i>a2_20</i>	2	20	600	3	30
<i>a3_18</i>	3	18	360	3	30
<i>a3_24</i>	3	24	480	3	30
<i>a3_30</i>	3	30	600	3	30
<i>a4_16</i>	4	16	240	3	30
<i>a4_24</i>	4	24	360	3	30
<i>a4_32</i>	4	32	480	3	30

Fonte: Adaptado de Cordeau (2006)

A resolução do DARP com gênero para o conjunto de instâncias  $a$  utilizou a metaheurística simulated annealing. Os parâmetros foram estabelecidos segundo o trabalho de Kirkpatrick *et al.* (1983). A temperatura inicial  $t$  foi escolhida como a diferença entre duas soluções iniciais e  $\alpha = 0,5$ . Além disso, a quantidade de pontos para modificação  $m$  foi estabelecida como escolha aleatória entre o conjunto  $\{1, 2, 3\}$ .

A Tabela 5 exibe os resultados obtidos da simulação da metaheurística SA para os cenários com 20% e 40% de proporção de clientes do gênero feminino. Tais soluções são comparadas aos valores das soluções ótimas obtidas pelo trabalho de Cordeau (2006) para o problema DARP tradicional (formulação exibida pelas Equações 1 – 16). Tal comparação é realizada porque o DARP com gêneros é uma variação do problema DARP tradicional e restringe o espaço solução deste, ou seja, as soluções do problema DARP com gênero são limitadas pelas soluções do DARP tradicional. Observa-se, que as soluções do trabalho de Cordeau (2006) foram obtidas pela elaboração e implementação do método exata *Branch-and-Bound*, sendo determinada as soluções ótimas para cada instância. A metaheurística SA trouxe as melhores soluções encontradas pelo algoritmo, porém sem a garantia de encontrar a solução ótima para o DARP com gênero.

Para as instâncias  $a3_{30}$  e  $a4_{24}$  observou-se as menores diferenças de tempo de resolução. Em geral, o tempo de resolução da metaheurística SA esteve entre o intervalo  $[19, 46]$  e  $[34, 74]$  para os cenários de 20% e 40% de proporção do gênero feminino, respectivamente. Ainda a metaheurística SA apresentou menor variação em relação ao tamanho da instância se comparado com o trabalho de Cordeau (2006), que exibe grande variação de tempo de resolução para instâncias maiores.

**Tabela 5 – Resultados obtidos pela simulação do DARP com gênero e do DARP clássico (Cordeau)**

Instância	Melhor solução factível			Tempo de Resolução (s)		
	DARP Clássico (Cordeau) (0%)	SA para DARP com gênero (20%)	SA para DARP com gênero (40%)	DARP Clássico (Cordeau) (0%)	SA para DARP com gênero (20%)	SA para DARP com gênero (40%)
$a2_{16}$	294,25	315,61	708,21	0,01	30	34
$a2_{20}$	344,83	453,94	965,93	0,08	24	55
$a3_{18}$	300,48	379,52	-	0,2	35	43
$a3_{24}$	344,83	472,07	-	4	19	37
$a3_{30}$	494,85	535,43	-	42	46	61
$a4_{16}$	282,68	334,52	541,86	2	38	42
$a4_{24}$	375,02	428,29	-	25	42	65
$a4_{32}$	447,66	561,87	-	240	45	74

Fonte: Autoria própria

Nota-se também que para o cenário onde houve maior proporção de clientes do gênero feminino (40%) a metaheurística proposta teve dificuldade de obter soluções factíveis, assim tendo retornado soluções factíveis apenas para as instâncias  $a2_{16}$ ,  $a2_{20}$  e  $a4_{16}$ . Ao verificar as possíveis características da infactibilidade, evidenciou-se que as restrições de janela de tempo para o atendimento dos clientes apresentavam um cenário extremamente restritivo. Portanto, foi proposta uma nova política para o atendimento permitindo o atraso máximo de 10 minutos para todos os clientes. Este novo cenários foi chamado de DARP com gênero e folga de tempo (40%) e suas soluções são consideradas infactíveis para os cenários anteriormente estudados.

A Tabela 6 apresenta os valores da implementação da metaheurística AS para o cenário do DARP com gênero e folga de tempo (40%). Observa-se que neste novo cenário foi possível obter soluções para todos as instâncias, porém em todos os casos houve a

necessidade do atraso no atendimento dos clientes. Ainda, os valores de custo das soluções foram menores comparados ao cenário do DARP com gênero (40%).

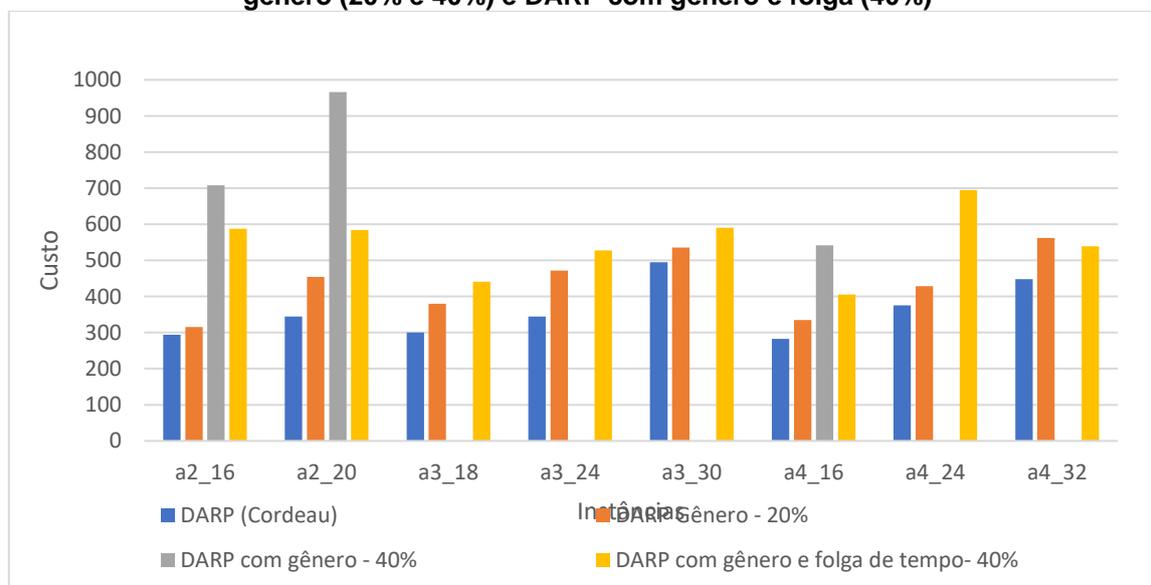
**Tabela 6 – Resultados obtidos pela simulação do DARP com gênero e do DARP clássico (Cordeau)**

Instância	Melhor solução			Tempo de Resolução (s)		
	SA para DARP com gênero (20%)	SA para DARP com gênero (40%)	SA para DARP com gênero e folga de tempo (40%)	SA para DARP com gênero (20%)	SA para DARP com gênero (40%)	SA para DARP com gênero e folga de tempo (40%)
a2_16	315,61	708,21	588,03	30	34	25
a2_20	453,94	965,93	584,27	24	55	43
a3_18	379,52	-	440,96	35	43	38
a3_24	472,07	-	527,61	19	37	42
a3_30	535,43	-	590,48	46	61	53
a4_16	334,52	541,86	405,59	38	42	35
a4_24	428,29	-	694,33	42	65	59
a4_32	561,87	-	539,23	45	74	66

Fonte: Autoria própria

A Figura 2 apresenta o gráfico de comparação do custo das soluções para o DARP tradicional do trabalho de Cordeau (2006) com o custo das soluções obtidas pela implementação da metaheurística SA para os cenários do DARP com gênero (20% e 40%) e DARP com gênero e folga (40%). Para todas as instâncias o custo das soluções do DARP tradicional foram as menores. O cenário do DARP com gênero (20%) obteve soluções de custo menores comparado aos custos das soluções dos cenários do DARP com gênero (40%) e DARP com gênero e folga (40%). Ainda, houveram os maiores custos para as soluções das instâncias a2\_16, a2\_20 e a4\_16 do cenário DARP com gênero (40%), uma vez que não houve política de folga de atendimento e isto levou a grandes desvios da rota dos clientes.

**Figura 2 – Gráfico de comparação dos custos das soluções para o DARP clássico e o DARP com gênero (20% e 40%) e DARP com gênero e folga (40%)**



Fonte: Autoria própria

## 5. Conclusões

O problema de Dial-a-Ride traz a formulação de viagens a mínimo custo para ambientes de transporte compartilhado sob demanda. Neste trabalho foi proposta uma nova variação que considera a separação do atendimento de clientes por gênero. Foram modeladas instâncias de teste com relação a dois tipos de gênero (feminino e masculino), variando a proporção de clientes femininos em 20% e 40%, além de um ambiente extra que considera a folga de atendimento. A resolução seguiu a aplicação da metaheurística simulated annealing. Os resultados obtidos alcançaram soluções factíveis para o cenário do DARP com gênero (20%), porém apenas 30% das instâncias do cenário do DARP com gênero (40%) apresentaram soluções factíveis. Em resposta a baixa taxa de soluções factíveis, o cenário do DARP com gênero e folga (40%) trouxe soluções para todas as instâncias, embora havendo folga/atraso no atendimento dos clientes. Portanto, em trabalhos futuros serão consideradas instâncias de grande porte e comparações de diferentes políticas de separação por gênero e folgas de atendimento.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## Referências

- BRASIL. Decreto-Lei 13.718, de 24 de setembro de 2018. Código Penal. Diário Oficial da União, Brasília, 24 set. 2018.
- CORDEAU, J.-F. A Branch-and-cut algorithm for the dial-a-ride problem. **Operations Research**, v.54, p. 573-586, 2006.
- FACTOROVICH, P.; MÉNDES-DÍAZ, I.; ZABALA, P. Pickup and delivery problem with incompatibility constraints. **Computers and Operations Research**, v. 113, p. 104805, 2020.
- INSTITUTO PATRÍCIA GALVÃO/LOCOMOTIVA. **Segurança das mulheres no transporte**. Disponível em: < [https://assets-dossies-ipg-v2.nyc3.digitaloceanspaces.com/sites/5/2019/06/IPG\\_Locomotiva\\_2019\\_Segurani\\_das\\_mulheres\\_no\\_transporte.pdf](https://assets-dossies-ipg-v2.nyc3.digitaloceanspaces.com/sites/5/2019/06/IPG_Locomotiva_2019_Segurani_das_mulheres_no_transporte.pdf)> Acesso em 27 set. 2020.
- KIRKPATRICK, S.; GELATT, C. D.; VECCHI, M. P. Optimization by simulated annealing. **Science**, v. 220, p. 671-680, 1983.
- MASMOUDI, M. A.; HOSNY, M.; Demir, E.; GENIKOMSAKIS, K. N.; CHEIKHROUHOU, N. The dial-a-ride problem with electric vehicles and battery swapping stations. **Transportation Research Part E**, v. 118, p. 392-420, 2018.
- TELLEZA, O.; VERCRAENE, S; LEHUÉDÉ, F.; PÉTON, O.; MONTEIRO, T. The fleet size and mix dial-a-ride problem with reconfigurable vehicle capacity. **Transportation Research Part C**, v. 91, p. 99-123, 2019.
- YU, V. F.; PURWANTI, S. S.; REDİ, A. A. N. P.; LU, C.-C.; SUPRAYOGI, S.; JEWPPANYA, P. Simulated annealing heuristic for the general share-a-ride problem. **Engineering Optimization**, v. 50, n. 7, p. 1178-1197, 2018.