

# IMPLEMENTAÇÃO DE MÉTODOS PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS COM FROTA HOMOGÊNEA

Laura Caligaris Perim Morelli (UFU) [laura.morelli@ufu.br](mailto:laura.morelli@ufu.br)  
Jorge von Atzingen dos Reis (UFU) [jorgereis@ufu.br](mailto:jorgereis@ufu.br)

## Resumo

Para manter o nível de competitividade as organizações buscam meios de otimização para as operações, possibilitando o estudo e desenvolvimento de modelos de otimização, onde o roteamento de veículos se enquadra nos problemas clássicos dentro do gerenciamento logístico. O Problema de Roteamento de Veículos (PRV) é uma extensão do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), ao adicionar novas restrições. O PRV é classificado como um problema *NP-hard*, ou seja, não existe um algoritmo que encontre a solução ideal em tempo polinomial. Nesse contexto as organizações com mais processos otimizados e custos reduzidos sobrevivem a concorrência. Dessa forma o roteamento de veículos é um dos maiores gargalos para roteirização para organizações e se enquadra nos problemas clássicos dentro do gerenciamento logístico. O presente trabalho aborda o desenvolvimento e implementação de métodos capazes de determinar rotas para diferentes veículos com capacidades distintas, o qual retornará uma solução para o roteamento de veículos. O estudo é baseado na formulação do modelo matemático, a utilização do software de otimização GUROBI, implementando heurística construtiva e duas meta-heurísticas para resolução do modelo e análise dos resultados obtidos, com intuito de buscar a minimização de custos da operação logística, ou seja, custos referentes ao frete e a geração da ordem de rotas.

**Palavras-Chaves:** logística, pesquisa operacional, PRV, meta-heurística

## 1. Introdução

Atualmente as operações logísticas possuem uma grande importância no planejamento corporativo das empresas, isso se justifica em algumas operações, em que o custo e o planejamento envolvido são complexos e significantes para a corporação, pois o nível de serviço prestado deve ser compatível com a necessidade do mercado atual, que por sua vez está dinâmico e exigente (ARAÚJO, 2017). Desta forma é necessário mensurar o equilíbrio entre o nível de serviço e os custos envolvidos nas operações logísticas, sejam elas no transporte ou no armazenamento de bens.

O monitoramento e controle nas operações são diferenciais na competitividade para a sustentação no mercado que auxilia o nível de serviço prestado, onde as necessidades e dinâmismos devem ser compatíveis.

Segundo Ballou (2006) os custos com transporte chegam em até 60% dos custos logísticos, obrigando as empresas e instituições adotem ferramentas para otimização em seus processos e que elaborem um planejamento e programação que sejam eficazes.

Dentro do planejamento logístico a roteirização é uma ferramenta que auxilia as operações logísticas, ou seja, ativos de transporte são designados para melhor atender os clientes buscando sempre o nível de serviço desejável. Segundo Taha (2008), esta atividade tem como princípio determinar roteiros, paradas e sequências, buscando a minimização de tempos, rotas e conseqüentemente custos, sempre atendendo a todos os locais pré-determinados.

Os métodos de Pesquisa Operacional (PO) podem ser utilizados para solucionar problemas de logística como o PRV. A PO é formada por um aglomerado de técnicas de solução para os diversos tipos de problemas, a determinação da solução é baseada na complexidade do problema (TAHA, 2008). Algumas das técnicas da PO são a programação linear, a programação inteira, a programação dinâmica, otimização em redes, a programação não linear e as heurísticas e meta-heurísticas. As heurísticas e meta-heurísticas diferentemente das outras técnicas podem não apresentar uma solução ótima, mas sim uma solução boa ou melhorada, dado que elas são utilizadas na solução de problemas que possuem modelos matemáticos muito complexos (TAHA, 2008).

Definindo o problema e sendo perceptível a complexidade de geração de rotas, a Pesquisa Operacional possibilita a aplicação de ferramentas para o estudo e desenvolvimento de modelos matemáticos para resolução, que é caracterizado como um problema clássico de *Vehicle Routing Problem – VRP*, segundo Arenales (2007) esse modelo apresenta a existência de uma frota de veículos que devem atender um conjunto de clientes de forma a captar seus recursos e entregar em um ponto de destino que geralmente é nas indústrias, levando em consideração que a geração da ordem de rotas tenha a menor distância possível.

## **2. Logística**

Define-se como logística a parte do gerenciamento da cadeia de abastecimento que planeja, implementa e controla o fluxo e armazenamento eficiente e econômico de matérias-primas, materiais semiacabados e produtos acabados, bem como as informações a eles relativas, desde

o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências dos clientes (Carvalho, 2002, p. 31).

De acordo com Bowersox (2007), a logística é o estudo científico através do planejamento, onde as operações logísticas devem ser feitas de acordo com tempo, quantidades e destinos planejados, sempre buscando o menor custo e o máximo nível de serviço. Em algumas operações o fluxo de informação do que está acontecendo ou que já aconteceu é importante para manutenção e controle do planejamento logístico. As maiores dificuldades no planejamento envolvem questões de quantidade de cliente, armazenamento de estoque, custos referentes as distâncias, decisões de rotas, quantidades de ativos de transporte e capacidade dos ativos.

Dentro do planejamento logístico a roteirização é uma ferramenta que busca direcionar as operações logísticas, ou seja, ativos de transportes são designados para melhor atender os clientes buscando sempre o nível de serviço que os atenda melhor, esse método pode ser realizado através de técnicas específicas que são processos clássicos desenvolvido por algum grupo de pessoas ou por softwares que conseguem fazer automaticamente. Segundo Taha (2008), essa atividade tem como princípio determinar roteiros, paradas e sequências, buscando a minimização de tempos, rotas e consequentemente custos, sempre atendendo a todos os locais pré-determinados.

Um dos problemas clássicos dentro do gerenciamento logístico é o roteamento de veículos, conhecido também como Problema de Roteamento de Veículos ou simplesmente PRV, onde o mesmo baseia-se na construção de rotas para cada caminhão, atendendo todos os pontos solicitados no problema. Esse tipo de modelo geralmente é utilizado nos projetos de rotas para entrega ou coleta.

## **2.1 Problema de Roteamento de Veículos (PRV)**

Na formulação clássica proposta pelo Arenales (2007), o PRV é representado por um conjunto de grafos orientados e completos  $G = (N, E)$  em que  $N = C \cup \{0, n+1\}$ , sendo que  $C = \{1, \dots, n\}$  e o conjunto de nós que representam os pontos a serem atendidos,  $0$  a origem e  $n+1$  são os nós que representam o depósito. O conjunto  $E = \{(i, j) \mid i, j \in N, i \neq j, i \neq n+1, j \neq 0\}$ , sendo  $K$  o conjunto de veículos disponíveis de uma frota homogênea.

O objetivo proposto é minimizar os custos totais percorridos, atentando que cada rota deve ser iniciada no ponto  $0$  e terminada no ponto  $n+1$ , os pontos serão atendidos somente uma única

vez e a demanda total presente nos mesmos não pode ultrapassar a capacidade do caminhão, assim como o tempo de viagem total da rota, considerando:

- $c_{ij}$  sendo custo do veículo ao percorrer o arco  $(i, j)$ ;
- $d_{ij}$  e a demanda do cliente  $i$ ;
- $Q$  e a capacidade de cada veículo  $k$ , com frota Homogênea;
- $S$  e um conjunto de subconjunto contido dentro  $G = (N, E)$ ;
- Variáveis de decisão  $x_{ijk}$ : 1 se o veículo  $K$  percorre o arco  $(i, j)$ ,  $\forall k \in K, \forall (i, j) \in E$ ; 0 caso contrário.

Figura 1 - Modelo Matemático do Problema de Roteamento de Veículos

$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ijk}$	[2.1]
$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in C$	[2.2]
$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq Q \quad \forall k \in K$	[2.3]
$\sum_{j \in N} x_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K$	[2.4]
$\sum_{i \in N} x_{ihk} - \sum_{j \in N} x_{hjk} = 0 \quad \forall h \in C, \forall k \in K$	[2.5]
$\sum_{i \in N} x_{i, n+1, k} = 1 \quad \forall k \in K$	[2.6]
$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq  S  - 1 \quad S \subset C, 2 \leq  S  \leq \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor, \forall k \in K$	[2.7]
$x_{ijk} \in [0, 1] \quad \forall i, j, k$	[2.8]

Fonte: Arenales (2007)

As equações 2.1 a 2.8 apresentam o modelo matemático para o VRP proposto em Arenales (2007):

- A equação 2.1 referente a função objetiva remete a minimização dos custos envolvidos para realização da rota percorrida de todos veículos utilizados;
- A equação 2.2 referentes a primeira restrição do modelo, onde o somatório de todos  $K$  veículos e os  $j$  do arco  $(i, j)$ , para todo  $i$  pertencente ao mesmo arco deve ser igual a 1, ou seja, restringe todos os pontos a sejam visitados uma única vez;

- A equação 2.3 referentes a segunda restrição do modelo, onde somatório da demanda  $d_i$  sendo  $i$  pertencente ao arco  $(i, j)$  seja menor ou igual que capacidade  $Q$  de cada veículo  $K$ , ou seja, garante que a capacidade de nenhum veículo seja excedida;
- A equação 2.4 referentes a terceira restrição do modelo, onde o somatório de  $j$  pertencente ao arco  $(i, j)$ , para todo  $K$  veículo deve ser igual a 1, ou seja, garante todos os veículos partem do ponto de origem considerando  $i = 0$ ;
- A equação 2.5 referentes a quarta restrição do modelo, onde o somatório de  $i$  pertencente ao arco  $(i, j)$  deve ser igual ao somatório de  $j$  pertencente ao mesmo arco, para todo  $K$  veículo e  $h$  pertence ao arco  $(i, j)$ , ou seja, garante que os veículos  $K$  que chegam no ponto de origem, são os mesmos que partem para o ponto de destino;
- A equação 2.6 referentes a quinta restrição do modelo, onde o somatório de  $i$  pertencente ao arco  $(i, j)$  deve ser igual a 1, para todo  $K$  veículo, ou seja, garante que todos os veículos escolhidos cheguem no ponto destino,  $j = N$ ;
- A equação 2.7 referente a sexta equação do modelo, onde somatório de  $i$  e  $j$  pertencente ao arco  $S = (i, j)$ , sabendo que o presente arco  $S$  e contido dentro do conjunto  $G = (N, E)$ , deve ser menor ou igual que o  $|S| - 1$  com  $|S| = \{ 2 \dots \lfloor N / 2 \rfloor \}$  para todo  $K$  veículo, ou seja, elimina a possibilidade da geração de sub-rotas.

Simas & Gómez (2005) novamente fizeram um estudo usando a Busca Tabu. Foram utilizados 3 mecanismos de geração de vizinhança: Troca de vértices, Construção de Rotas e Remoção/inserção de vértices. Concluiu-se que quando isolados, os mecanismos não apresentaram boas soluções, entretanto, a combinação dos três gerou soluções de qualidade satisfatória.

Sosa et al. (2007) propôs um trabalho de solução do Problema de Roteamento de Veículos através da meta-heurística Busca Dispersa (BD), um método de 5 etapas que consiste em gerar um conjunto de soluções iniciais, melhorá-lo e enfim combinar as soluções iniciais melhoradas para encontrar uma solução de qualidade superior. O algoritmo foi testado para quatro conjuntos de dados e os resultados mostram que as soluções encontradas se aproximam

das melhores soluções reportadas na literatura, sendo obtidas com um tempo computacional reduzido.

Rodrigues (2007) aplicou três algoritmos para obter uma minimização de custos no Problema de Roteamento de Veículos, fazendo uso da metodologia como uma proposta de solução para o transporte de funcionários da empresa Hidrelétrica Itaipu Binacional. Para resolver o problema, primeiro aplicou-se o algoritmo das p-Mediana de Teitz e Bart, medianas essas que representam o número de veículos a serem utilizados. Em seguida, aplicou-se o Algoritmo de Designação de Gillet e Johnson Modificado para a designação dos pontos de parada de cada veículo. Por fim, o Algoritmo de Otimização por Colônia de Formigas aplicado ao Problema do Caixeiro Viajante foi usado para a determinação da ordem em que os pontos serão visitados. Os resultados obtidos se mostraram melhores em comparação aos adotados pela empresa.

Heinen & Osório (2006) compararam o desempenho de 3 heurísticas de aproximação para o problema: Heurística de Clark e Wright, Heurística de Mole e Jameson e os Algoritmos Genéticos. A partir dos resultados, constatou-se que o algoritmo de Mole e Jameson é bem mais lento que o de Clark e Wright, entretanto, a qualidade da sua solução é claramente superior. Já os Algoritmos Genéticos, apesar de serem muito mais rápidos que a solução exata, se mostraram mais lentos que as outras duas heurísticas e apresentaram melhores soluções apenas para problemas com menos de 20 nós, para entradas maiores os resultados foram os piores obtidos.

## ***2.2 Variable Neighborhood Search (VNS)***

O princípio do VNS visa criar conjuntos de soluções e combiná-las entre si para obter a melhor solução possível.

O VNS explora as soluções através de trocas sistemáticas de estruturas de vizinhança, e focaliza a busca em torno de uma nova solução, a qual é alcançada somente quando um movimento de melhora é identificado (MLADENOVIC & HANSEN, 1997).

As estruturas de vizinhança de uma solução são as modificações que podem ser feitas na solução atual, de tal forma a gerar uma nova solução distinta e melhorada. Para se determinar se uma solução vizinha é uma melhora de uma anterior é utilizada a função objetivo ou função de avaliação, que tem como objetivo quantificar cada solução e selecionar as de valores superiores (REIS & CUNHA, 2010).

Figura 2 - Pseudocódigo *Variable Neighborhood Search*(VNS).

```
procedimento VNS
1. Seja  $s_0$  uma solução inicial;
2. Seja  $r$  o número de estruturas diferentes de vizinhança;
3.  $s \leftarrow s_0$  ; //Solução corrente
4. enquanto (Critério de parada não for satisfeito) faça
5.      $k \leftarrow 1$ ; //Tipo de estrutura de vizinhança corrente
6.     enquanto ( $k \leq r$ ) faça
7.         Gere um vizinho qualquer  $s' \in N^{(k)}(s)$ ;
8.          $s'' \leftarrow \text{BuscaLocal}(s')$ ;
9.         se ( $f(s'') < f(s)$ ) então
10.             $s \leftarrow s''$ ;
11.             $k \leftarrow 1$ ;
12.        senão
13.             $k \leftarrow k + 1$ ;
14.        fim-se;
15.    fim-enquanto;
16. fim-enquanto;
17. Retorne  $s$ ;
fim VNS;
```

Fonte: Souza (2009)

### 2.3 *Iterated Local Search* (ILS)

O método *Iterated Local Search* (ILS) é baseado na ideia de que um procedimento de busca local pode ser melhorado gerando-se novas soluções de partida, as quais são obtidas por meio de perturbações na solução ótima local (Souza, 2009).

O sucesso do ILS é centrado no conjunto de amostragem de ótimos locais, acompanhado de a escolha do método de busca local, das perturbações e do critério de aceitação. Em princípio, qualquer método de busca local pode ser usado, mas o desempenho do ILS com respeito à qualidade da solução final e a velocidade de convergência depende fortemente do método escolhido.

Figura 3 – Algoritmo *Iterated Local Search*

```
procedimento ILS
1.  $s_0 \leftarrow \text{GeraSoluçãoInicial}()$ ;
2.  $s \leftarrow \text{BuscaLocal}(s_0)$ ;
3. enquanto (os critérios de parada não estiverem satisfeitos) faça
```

```
4. s' ← Perturbação(histórico, s);
5. s'' ← BuscaLocal(s');
6. s ← CritérioAceitação(s, s'', histórico);
7. fim-enquanto;
fim ILS
```

Fonte: Souza (2009)

**3. Metodologia**

O objetivo do trabalho é de fundamento exploratório. No final de pesquisas exploratórias é possível conhecer mais sobre o assunto tratado e estar capacitado para desenvolver hipóteses, por ser muito específica dependendo muito da intuição do explorador (GIL, 2008). O procedimento para o desenvolvimento da pesquisa foi o de modelagem.

Primeiramente, foi realizada uma pesquisa em torno de um banco de dados que possuísse dados confiáveis com soluções viáveis, visto que o foco do trabalho era o desenvolvimento de um método de otimização para o Problema de Roteamento de Veículos (PRV), não se limitando a um problema específico e sim a aplicação a todos os tipos referentes ao problema abordado neste trabalho.

**4. Resultados**

Conforme citado na metodologia do trabalho, o primeiro passo o estudo sobre o tema tratado e a escolha das instâncias iniciais do teste no banco de dados *online* OR- Library. As instâncias foram selecionadas de acordo com o problema, visando englobar desde problemas pequenos até problemas grandes. Foram selecionadas 3 instâncias descritas na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Instâncias

<b>Instância</b>	<b>Cidades</b>
1 <sup>a</sup>	5
2 <sup>a</sup>	20
3 <sup>a</sup>	50

Fonte: autoria própria



Após o levantamento da revisão bibliográfica iniciou a implementação do modelo matemático do Problema de Roteamento de Veículos (PRV) no software GUROBI®. Como estipulado na metodologia da pesquisa a finalidade seria o desenvolvimento da meta-heurística *Variable Neighborhood Search* (VNS) e *Iterated Local Search* (ILS), pois ambos utilizam um menor esforço computacional e retornar uma solução com menor variação em relação à solução ótima, entretanto as meta-heurísticas necessitam de uma heurística construtiva, que é moldada de acordo com o problema específico.

Após a implementação da heurística construtiva foram implementadas as meta-heurísticas de levando em consideração seus respectivos pseudocódigos. Depois disso, foram feitos 5 testes com as duas meta-heurísticas com o objetivo de testar a robustez das meta-heurísticas. Neste teste foram usadas 3 estruturas de vizinhança para o VNS. Na Tabela 2 são apresentados os testes com o arquivo de 5 cidades.

Tabela 2 - Calibração das meta-heurísticas da instância 1

Testes	ILS		VNS k=3	
	FO	Tempo(s)	FO	Tempo(s)
Teste 1	379,61	0,01	379,61	0,01
Teste 2	379,61	0,01	379,61	0,01
Teste 3	379,61	0,01	379,61	1
Teste 4	379,61	1	379,61	0,01
Teste 5	379,61	0,01	379,61	1
Média	379,61	0,20	379,61	0,40
Desvio	0,00	0,45	0,00	0,55

Fonte: autoria própria

Percebe-se que na primeira instância com 5 cidades, o valor da solução ótima foi encontrado em todos os testes. Desta forma não foram encontradas diferenças significativas entre os diferentes métodos propostos. Isso se deve ao fato da instância de teste com 5 cidades ser muito pequena e não ter exigido muito dos métodos propostos.

Na segunda instância de teste, o arquivo com 20 cidades, foram feitos os testes das meta-heurísticas ILS e VNS e para o VNS foi feito o teste com  $k = 3$  ou  $k = 8$ , onde  $k$  é o número de estruturas de vizinhança utilizadas. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

Percebe-se que na segunda instância com 20 cidades, o valor da solução ótima oscilou mais do que na primeira instância e teve uma média 1.185,40 e o desvio padrão de 20,22 para o ILS. Em relação ao VNS a oscilação foi bem menor em relação ao ILS, o desvio padrão foi de 2,49 contra 20,22 do ILS, uma diminuição de 12%. Em relação as estruturas de vizinhança do VNS, o aumento de estruturas não alterou muito, houve uma diminuição de apenas 0,09% e um aumento de 2,4 vezes no tempo.

Tabela 3- Calibração das meta-heurísticas da instância 2

Teste	ILS		VNS k=3		VNS k=8	
	FO	Tempo(s)	FO	Tempo(s)	FO	Tempo(s)
Teste 1	1.197,74	15	1.093,68	20	1.093,68	61
Teste 2	1.200,76	12	1.093,68	19	1.097,56	62
Teste 3	1.154,37	18	1.093,68	21	1.093,68	63
Teste 4	1.198,87	16	1.097,56	21	1.093,68	63
Teste 5	1.175,28	8	1.098,75	20	1.093,68	58
Média	1.185,40	13,80	1.095,47	20,20	1.094,46	61,40
Desvio	20,22	3,90	2,49	0,84	1,74	2,07

Fonte: autoria própria

Na terceira instância de teste, a qual possui 50 cidades, foram feitos os testes das meta-heurísticas ILS e VNS e para o VNS foi feito o teste com 3 e 8 estruturas de vizinhança. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Calibração das meta-heurísticas da instância 3

Teste	ILS		VNS k=3		VNS k=8	
	FO	Tempo(s)	FO	Tempo(s)	FO	Tempo(s)
Teste 1	2.685,90	88	2.425,60	248	2.431,18	1.769
Teste 2	2.685,90	90	2.445,72	337	2.447,03	1.178
Teste 3	2.685,90	91	2.448,97	250	2.438,61	878
Teste 4	2.685,90	94	2.456,98	287	2.436,66	929
Teste 5	2.685,90	89	2.447,03	272	2.420,84	1.521
Média	2.685,90	90,40	2.444,86	278,80	2.434,86	1.255,00
Desvio	0,00	2,30	11,62	36,33	9,69	383,82

Fonte: autoria própria

Percebe-se que na terceira instância com 50 cidades que a meta-heurística ILS não teve nenhum desvio da solução obtida, o tempo teve um leve desvio padrão de 2,3 segundos. Em relação às estruturas de vizinhança do VNS, a estrutura com 3 apresentou uma solução 0,4 vezes maior que a estrutura com 8, porém, em relação ao tempo, a estrutura de 8 aumentou 4,5 vezes em relação a estrutura de 3. Então foi considerado que a estrutura com 3 vizinhanças é mais eficiente que a de 8. Comparando a melhor estrutura do VNS com o ILS, o ILS não teve desvio padrão e sua solução é 166 vezes mais rápida que o VNS. Já a última tem uma melhor solução ótima melhorada em 1,1 vezes em relação ao ILS.

A fim de comparar as duas meta-heurísticas entre si foi limitado o número de iterações. A Tabela 5, limitou-se o número de iterações em 10.000.

Tabela 5- Comparação da meta-heurística VNS e ILS

	Cidades	FO		Tempo	
		Média	Desvio	Média	Desvio
ILS	5	379,61	0,00	0,20	0,45
	20	1.185,40	20,22	13,80	3,90
	50	2.685,90	0,00	90,40	2,30
VNS	5	379,61	0,00	0,40	0,55
	20	1.095,47	2,49	20,20	0,84
	50	2.444,86	11,62	278,80	36,33

Fonte: autoria própria

Pode-se concluir em relação ao resultado de 5 cidades que as 2 meta-heurísticas obtiveram a mesma solução ótima. Em relação a 20 cidades, o VNS obteve uma solução 0,9 vezes melhor que o ILS.

Após a comparação das duas meta-heurísticas, foi acrescentado a comparação em relação a heurística construtiva, programação linear (resultado do modelo matemático), programação linear e VNS (PL+VNS) e programação linear e ILS (PL+ILS).

Observa-se que na instância de testes com 5 cidades, somente a heurística construtiva não obteve a solução ótima, o tempo de todos os métodos foi muito pequeno (menor que 1 segundo).

Tabela 5- Comparação da meta-heurística VNS e ILS

	5 cidades		20 cidades		50 cidades	
	FO	Tempo(s)	FO	Tempo(s)	FO	Tempo
<b>PL</b>	379,61	0,01	1.093,68	67	2.370,47	28.800
<b>Heurística</b>	442,74	0,01	1.291,84	0,01	2.685,90	0,01
<b>ILS</b>	379,61	0,01	1.154,37	18	2.685,90	88
<b>PL + ILS</b>	379,61	0,01	1.093,68	38	2.404,00	150
<b>VNS</b>	379,61	0,01	1.093,68	19	2.425,60	248
<b>PL + VNS</b>	379,61	0,01	1.093,68	50	2.404,00	309

Fonte: autoria própria

Para a instância de testes com 20 cidades, a PL, PL + ILS, VNS e PL+VNS obtiveram o valor da solução ótima, porém com tempos de resolução diferentes. O mais rápido foi o VNS com 19 segundos de tempo de resolução para obter a solução ótima. O ILS obteve uma solução 5,55% acima da solução ótima em 18 segundos.

Nos testes com a instância que possui 50 cidades, a programação linear foi o único método a obter a solução ótima após 8 horas de processamento computacional. A combinação da programação linear com o ILS (PL+ILS) obteve uma solução 1,41% acima da solução ótima

em 2,5 minutos. Esta mesma solução foi obtida pela combinação PL+VNS em 5,2 minutos. O VNS obteve uma solução 2,33% acima da solução ótima em 4,1 minutos e o ILS obteve uma solução 13,31% acima da solução ótima em 1,5 minutos. A solução obtida pelo ILS foi considerada de má qualidade pois é igual à solução obtida pela heurística construtiva em menos de 1 segundo.

## 5. Conclusão

Neste trabalho foi proposto e implementado alguns métodos para a resolução do Problema de Roteamento de Veículos (PRV). A fim de comparar duas meta-heurísticas para a resolução do problema e encontrar a que obteve melhores resultados foi implementada a *Variable Neighborhood Search* (VNS) e *Iterated Local Search* (ILS).

De acordo com os arquivos de entrada de 5, 20 e 50 cidades. No arquivo de 5 cidades todos alcançaram o valor da solução ótima. Já no arquivo de 20 cidades quem obteve o melhor resultado considerando tempo de resolução e valor da função objetiva foi o VNS. Por último no arquivo de 50 cidades quem obteve melhor resultado foi o PL + VNS.

## REFERÊNCIAS

- ARENALES, M., ARMENTANDO, V., MORABITO, R., YANASSE, H. (2007). Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro: Elsevier.
- BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006, p. 26-35; 199-206.
- BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J.; COOPER, M. Bixby. Supply Chain Logistics Management. Michigan, EUA. McGraw-Hill, 2002
- CARVALHO, J. M. C. - Logística. 3ª ed. Lisboa: Edições Silabo, 2002.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- HEINEN, M. R.; OSÓRIO, F. S. (2006) "Algoritmos genéticos aplicados ao problema de roteamento de veículos" Hifen, v. 30, n. 58, p. 89-96, 2006.
- MLADENOVIC, Nenad; HANSE, Pierre. **Variable neighborhood search**. Computers and Operations Research, 24, 1097-1100, 1997
- RODRIGUES, S. B. A Metaheurística Colônia de Formigas Aplicada a um Problema de Roteamento de Veículos: Caso da Itaipu Binacional. 82 f. Dissertação de Mestrado. Departamento de Matemática, Universidade Federal do Paraná, 2007.
- SIMAS, E. P. L.; GÓMEZ, T. A. Uma Solução para o Problema de Roteamento de Veículos através da Pesquisa Tabu. XXXVII SIMPÓSIO BRASILEIRO de PESQUISA OPERACIONAL, 2005.

SOSA, N. G. M.; GALVÃO, R. D.; GANDELMAN, D.A. Algoritmo de Busca Dispersa Aplicado ao Problema Clássico de Roteamento de Veículos. Pesquisa Operacional, v.27, n.2, p.293-310, Maio a Agosto de 2007.

SOUZA, Jamilson Freitas. **Inteligência Computacional para Otimização**. Disponível em: <<http://www.decom.ufop.br/prof/marcone>>. Acessado em 20 de Janeiro de 2020.

TAHA, Hamdy A. (2008) **Pesquisa operacional: uma visão geral** / Hamdy A. Taha; tradução Arlete Simille Marques; revisão técnica Rodrigo Arnaldo Scarpel. – São Paulo: Pearson Prentice Hall.