



SPOLM 2009

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 05 e 06 de agosto de 2009.

## **074/2009 - ALGORITMO HÍBRIDO GRASP/VND/ILS APLICADO AO PROBLEMA DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS COM COLETA E ENTREGA SIMULTÂNEAS**

**Vinicius Wellington Coelho de Morais**

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM

Rua da Glória, 187, Centro, Diamantina, MG, 39.100-000

[vinicius.si.ufvjm@gmail.com](mailto:vinicius.si.ufvjm@gmail.com)

**Luciana Assis**

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM

Rua da Glória, 187, Centro, Diamantina, MG, 39.100-000

[lpassis@ufvjm.edu.br](mailto:lpassis@ufvjm.edu.br)

**Luiz Felipe Vasconcelos Caires**

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM

Rua da Glória, 187, Centro, Diamantina, MG, 39.100-000

[lfelipevc@gmail.com](mailto:lfelipevc@gmail.com)

**Alessandro Vivas**

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM

Rua da Glória, 187, Centro, Diamantina, MG, 39.100-000

[alessandrovivas@ufvjm.edu.br](mailto:alessandrovivas@ufvjm.edu.br)

### **RESUMO**

Neste trabalho abordamos o Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultâneas (PRVCES). Dado um conjunto de clientes, o problema consiste em definir rotas de menor custo que atenda, simultaneamente, suas respectivas demandas de coleta e entrega, respeitando a capacidade dos veículos. Sob essa perspectiva o presente trabalho propõe um algoritmo híbrido com base nas metaheurísticas GRASP, VND e ILS. O algoritmo utiliza três tipos de movimentos para explorar a vizinhança inter-rota: cruzamento, realocação e eliminação de rota. O movimento 2-opt é utilizado para exploração de vizinhança intra-rota. Em todos os movimentos utiliza-se a estratégia melhor-aprimorante. Os testes ao qual o algoritmo proposto foi submetido apresentaram resultados satisfatórios.

**Palavras-Chaves:** Problemas de Roteamento de Veículos; GRASP; VND; ILS.

## ABSTRACT

This paper deals the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery (VRPSPD). The objective is define optimized routes, given a set of customers, that satisfy simultaneous their respective pickup and delivery demands and respect the capacity of the vehicles. Under this perspective, this paper we develop a hybrid algorithm that combines the GRASP, VND and ILS metaheuristics. This algorithm uses three types of movements to explore the inter-route neighborhood: crossover, reallocation and route elimination. The 2-opt movement is applied to explore intra-route neighborhood. All movements use best-improve strategy. The results were satisfactory in the tests to which the proposed algorithm was subjected.

**Keywords:** Vehicle Routing Problem; GRASP; VND; ILS;

## 1. INTRODUÇÃO

Hoje, com aplicação de diversas tecnologias, a indústria e agricultura vêm superando anualmente seus índices de produção. A forma como esses produtos são remetidos ao consumidor final ainda é um obstáculo a ser superado, contrariando os recordes de produção.

No Brasil, a extensa malha rodoviária e as condições precárias em que elas se encontram elevam os custos finais dos produtos. Além disso, outros fatores como o preço dos combustíveis, manutenção da frota de veículos e impostos, também contribuem para o elevado preço que os produtos chegam ao consumidor final.

O custo do transporte de uma mercadoria corresponde a cerca de 10% do valor final de um produto, quantia que é paga pelo consumidor (Alvarenga, 2005). Outro fator que vem se tornando relevante é a preocupação da sociedade com as questões ambientais, ou seja, além de produzir em maior quantidade, com qualidade e menor custo, deve-se atentar também ao impacto que a atividade industrial causa ao meio ambiente.

As organizações, em alguns dos casos, além de distribuir seus produtos também devem captar no mercado os produtos já comercializados por ela. Com o intuito de reaproveitá-los, seja para atender legislações ambientais, seja para maximizar seus lucros evitando desperdício de matéria prima. Essa prática caracteriza o problema de logística reversa.

As empresas que conseguem adequar soluções tecnológicas de logística ao escoamento de sua produção, além de conseguir bons rendimentos, se destacam no meio competitivo por aumentarem o valor agregado do seu produto.

O estudo do Problema de Roteamento de Veículos (PRV) vem então, tomando grande proporção neste contexto. Na literatura verifica-se uma grande quantidade de problemas originados a partir de variantes do PRV, sendo um deles o Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultânea (PRVCES).

O PRVCES foi inicialmente proposto por Min (1989) e pode ser definido como: dado uma frota com  $k$  veículos de capacidade  $Q$ , estes devem atender simultaneamente às

demandas de coleta e entrega de cada cliente de uma rede com  $n$  consumidores. Na prática, o problema pode ser visto nas cervejarias, empresas aéreas e transportadoras em geral.

Nesta década, trabalhos que tratam do PRVCES tem se destacado na literatura e diversas heurísticas para o problema podem se encontradas. Dethloff (2001) apresenta heurísticas baseada em inserção, Montané e Galvão (2002) propuseram heurísticas de particionamento de rota, e Assis (2007) apresenta três heurísticas construtivas baseadas no método Dividir e Rotear.

Freitas, *et al.* (2008), propõem dois algoritmos híbridos (VNS-VND e GRASP-VND) para o PRVCES. Montané e Galvão (2006) apresentam uma solução baseada na metaheurística Busca-Tabu. Hoff (2009) trabalha com a metaheurística Busca Tabu para resolver o Problema de Roteamento de Veículo com Coleta e Entrega (PRVCE), com base em estratégia de distribuição da rota Lasso, este último apresenta ainda duas estruturas de vizinhança *MoveOne* e *MoveTwo*.

Os trabalhos de Subramanian, *et al.* (2008) apresentam um procedimento híbrido com base na metaheurística ILS para o PRVCES. Gribkovskaia *et al.* (2007) propõe algoritmo com base na metaheurística Busca Tabu para resolver uma variação do PRVCES.

Gjpal e Abad (2009) apresentam um algoritmo baseado na metaheurística Colônia de Formigas para solucionar o Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultâneas.

A motivação para trabalhar com o PRVCES se deve ao fato de ser um problema com crescente aplicação e também pode ser considerado um problema da classe NP - Difícil (Dethloff, 2001).

Neste contexto, apresentamos neste artigo resultados e conclusões obtidos a partir do trabalho realizado com um Algoritmo Híbrido, envolvendo os procedimentos *Greedy Randomized Adaptive Search Procedures* (GRASP), *Variable Neighborhood Descent* (VND) e *Iterated Local Search* (ILS) para resolver o PRVCES. Na Sessão 2 descrevemos os mecanismos GRASP, VND e ILS, os mecanismos de perturbação e Buscas Locais utilizadas. Na Sessão 3 apresentamos os resultados obtidos e na Sessão 4 as conclusões e projeções quanto aos trabalhos futuros.

## 2. ALGORITMO HÍBRIDO GRASP-VND-ILS

O GRASP (*Greedy Random Adaptive Search Procedure*) é uma metaheurística multi-start para problemas de combinatórias. Este método iterativo foi proposto por Feo, T. e Resende, M. (1995). Ele é composto por duas fases: a Fase de Construção e a Fase de Busca Local. Na primeira fase busca-se uma solução viável aleatória para o problema. Provavelmente, as soluções da fase de construção não são localmente ótimas, então as buscas locais são utilizadas para explorar a vizinhança da solução.

Neste trabalho, na primeira fase do GRASP, utilizou-se a heurística Divisão com Kruskal proposto em (Assis, 2007). A segunda fase, a fase de Busca Local, foi aplicada um algoritmo híbrido VND-ILS.

O VND (*Variable Neighborhood Decent*) é um método de refinamento que explora por meio de trocas sistêmicas o conjunto de soluções vizinhas (P. Hansen e N. Mladenovic (2003)). Esse mecanismo realiza movimentações sistemáticas no conjunto de soluções vizinhas à solução corrente (Subramanian, *et al.*, 2008), aplicando a estratégia melhor-aprimorante. As estruturas de vizinhança implementadas no presente trabalho são:

- **Eliminação de Rotas:** movimento inter-rota que tenta eliminar rotas da solução corrente e inserir os vértices destas rotas em outras rotas. O objetivo é minimizar o

custo e o número de rotas. Este processo é repetido para todas as rotas, caso ocorra uma melhoria então atualiza-se a nova rota.

- **Realocação:** outro movimento inter-rota onde vértices são removidos aleatoriamente de rota e inseridos em outra em uma posição viável.
- **Cruzamento:** dadas duas rotas  $ri$  e  $rj$ , são escolhidos aleatoriamente um elemento de cada rota, posteriormente é feito o cruzamento dessas rotas tendo como parâmetro os nós escolhidos das rotas.
- **2-Opt:** movimentos intra-rotas onde são feitas sistêmicas trocas de arestas em uma rota testando todos os nós em diferentes posições, a melhor configuração da rota é mantida.

O ILS (*Iterated Local Search*) descrito em H. R. Lourenço *et al.* (2003), onde dada uma solução inicial, realiza o procedimento de Busca Local para encontrar uma solução ótima local. Essa solução, então, passa por uma série de perturbações buscando-se diversificar a busca no espaço de soluções. Neste trabalho, utilizou-se o VND na fase de Busca Local do ILS.

Por meio dos mecanismos de perturbação novas soluções de partida são geradas a partir de solução ótima local. Uma função de perturbação dita eficiente é aquela capaz de realizar movimentos fracos o suficiente para evitar um reinício aleatório e forte para possibilitar se explorar diferentes soluções tidas como ótimas locais.

O Algoritmo 1 apresenta o pseudocódigo do método proposto onde foram aplicados dois mecanismos de perturbação encontrados na literatura (Subramanian, *et al.*, 2008) o *Swap (1,1)* e *Ejection Chain*. Para evitar ciclagem o mecanismo de aceitação é usado ao fim de cada busca local sempre armazenado a melhor solução num dado estado corrente.

---

**Algoritmo 1.** GRASP\_VND\_ILS

---

**1: Procedimento GRASP\_VND\_ILS**

```
2:    $s^* \leftarrow \emptyset;$ 
3:    $f(s^*) \leftarrow \infty;$ 
4:   Para  $i \leftarrow 1$  até numIteraçõesGRASP
5:        $s' \leftarrow$  DivisãoComKruskal( );
6:       Para  $j \leftarrow 1$  até numIteraçõesILS
7:            $s'' \leftarrow$  VND( $s'$ );
8:           Se  $f(s'') < f(s^*)$ 
9:                $s^* \leftarrow s'';$ 
10:             $j \leftarrow 0;$ 
11:          Fim Se
12:           $s''' \leftarrow$  Perturbação
13:        Fim Para
14:      Fim Para
15:      return  $s^*$ 
```

**16: Fim Procedimento**

---

### 3. RESULTADOS

O algoritmo foi implementado em Java (jdk 1.6) e executado em uma máquina com processador Intel Core 2 duo T7250, 2.0 GHz, com 2 GB de RAM e Sistema Operacional Microsoft Windows XP. O algoritmo híbrido proposto foi testado executando-se 150 iterações em 14 instâncias propostas por Salhi e Nagy (1999) com o número de clientes variando entre 50 a 199 clientes, apresentado resultados satisfatórios conforme Tabela 1, a se avaliar pelos resultados encontrados nos trabalhos de Montané e Galvão (2006).

Instâncias	Nº Clientes	GRASP/VND/ILS			TS - Montané e Galvão			gap (%)
		Nº Veículos	Custo	Tempo *	Nº Veículos	Custo	Tempo **	Proposto/TS
CMT01X	50	3	455	2,26	3	472	3.73	3,60
CMT01Y	50	3	480	2,65	3	470	4.37	-2,13
CMT02X	75	5	690	9,81	7	695	6.91	0,72
CMT02Y	75	5	677	10,94	7	700	7.61	3,29
CMT03X	100	4	734	18,98	5	721	11.04	-1,80
CMT03Y	100	4	736	16,70	5	719	12.01	-2,36
CMT04X	150	6	919	56,06	7	880	24.60	-4,43
CMT04Y	150	6	892	51,04	7	878	29.07	-1,59
CMT05X	199	8	1123	135,61	11	1098	51.50	-2,28
CMT05Y	199	8	1103	135,90	10	1083	56.21	-1,85
CMT11X	120	4	805	7,94	4	900	18.17	10,56
CMT11Y	120	4	820	7,39	5	910	18.04	9,89
CMT12X	100	6	702	5,84	6	675	12.23	-4,00
CMT12Y	100	5	681	5,48	6	689	12.80	1,16
MÉDIA			772,64			777,9		0,67

\*CPU segundos em um processador Intel Core 2 duo T7250, 2.0 GHz

\*\*CPU segundos em um Athlon 2.0 GHz PC.

**Tabela 1.** Comparação Algoritmo híbrido GRASP/VND/ILS e algoritmo proposto por Montané e Galvão(2006), utilizando as instâncias propostas por Salhi e Nagy(1999).

A Tabela 1 mostra que em aproximadamente 42.8% das instâncias testadas o algoritmo proposto obteve melhor êxito, calculando a média do custo encontrado entre os trabalhos por meio do calculo ( $\%gap = ((TS\text{-}Montané\ e\ Galvão - GRASP/VND/ILS) * 100) / TS\text{-}Montané\ e\ Galvão$ ), o algoritmo GRASP/VND/ILS obteve uma melhoria de 0.67% em relação ao algoritmo baseado na Busca Tabu proposto por Montané e Galvão (2006) ao se avaliar todas as instâncias testadas.

### 4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposto um algoritmo híbrido com base nas metaheurísticas GRASP, VND e ILS. O objetivo dessa combinação é verificar ao máximo um conjunto de

soluções, por meio de perturbação e buscas locais na solução dada inicialmente pela fase de construção do GRASP.

Esta solução foi então explorada pelos mecanismos de perturbação e buscas descritos no corpo do presente artigo, esses procedimentos são executados em 150 iterações, porém, testes foram feitos variando esse valor. Acima deste número de iterações o algoritmo estabilizou não apresentando melhorias nos resultados.

O algoritmo proposto obteve bons resultados mostrando uma formação interessante dos métodos heurísticos encontrados na literatura. Esses resultados são motivadores para um estudo mais aprofundado destes métodos para resolver o Problema de Rotamanento de Veículos com Coleta e Entrega Simultâneas. Trabalhos futuros poderão explorar novas estruturas de vizinhança e outros mecanismos de perturbação.

### **Agradecimentos:**

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**Alvarenga, G. B.**, (2005) Um Algoritmo Híbrido para o Problemas de Roteamento de Veículos Estático e Dinâmico com Janela de Tempo, PhD thesis, Universidade Federal de Minas Gerais.

**Assis, L.**, (2007) Algoritmos para o Problema de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultâneas, Master's thesis, Universidade Federal de Minas Gerais.

**Hoff, A.; Gribkovskaia, I.; Laporte G.; Lokketangen, A.** (2009). Lasso Solution Strategies for the Vehicle Routing Problem with Pickups and Deliveries. *European Journal of Operational Research* 192 755-766, 2006, Montréal, Canada.

**Subramanian, A.; Ochi, L. S.; Cabral, L.A.F.** (2008) An efficient ILS heuristic for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery.

**Dethloff, J.** (2001). Vehicle routing and reverse logistics: The vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up. *OR Spectrum*, 23(1):79–96.

**Feo, T. e Resende, M.** (1995). Greedy randomized adaptive search procedures. *Journal of Global Optimization*, 6:109–133.

**Gajpal, Y. e Abad, P.** (2009), An ant colony system (acs) for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup, *Computers & Operations Research*.

**H.R. Lourenço, O. Martin, and T. Stützle.** (2003) Iterated Local Search. In F. Glover and G. Kochenberger, editors, *Handbook of Metaheuristics*, pages 321–353. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.

**Montané, F. A. T. e Galvão, R. D.** (2002), Vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service, *Journal of the Operational Research Society of India (OPSEARCH)*, 39:19–33.

**Montané, F. A. T. e Galvão, R. D.** (2006), A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service, *Computers and Operations Research*, 33(3):595–619.

**P. Hansen and N. Mladenovic.** (2003) Variable Neighborhood Search: Methods and Recent Applications. In F. Glover and G. Kochenberger, editors, *Handbook of Metaheuristics*, pages 321–353. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA.

**Nagy, G. e Salhi, S.** (2005), Heuristic algorithms for single and multiple depot vehicle routing problems with

**Freitas, Lia Mara Borges; Montané, F. A. T.** (2008). Metaheurísticas VNS-VND e GRASP-VND para Problemas de Roteamento de Veículos com Coleta e Entrega Simultânea. XI Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, Rio de Janeiro.

**Gribkovskaia, I.; Halskau, O.; Laporte, G.; Vlček M.** (2007). General Solution to the Single Vehicle Routing Problem with Pickup and Deliveries. *European Journal of Operational Research* 180 568-584, 2006, Montréal, Canada.

**Min, H.,** (1989) The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup points, *Transportation Research-A*, 23A(5):377–386.

**Salhi, S. and G. Nagy** (1999). A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling. *Journal of Operational Research Society* 50, 345–355.