



PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS CAPACITADOS COM RESTRIÇÕES DE CARREGAMENTO BI E TRIDIMENSIONAL: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Ubiratan Roberte Cardoso Passos

Programa de Pós Graduação em Informática (PPGI)
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Av. Fernando Ferrari, 514, 29075-910 - Vitória - ES, Brasil
ubiratanroberte@hotmail.com

André Renato Sales Amaral

Programa de Pós Graduação em Informática (PPGI)
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Av. Fernando Ferrari, 514, 29075-910 - Vitória - ES, Brasil
amaral@inf.ufes.br

RESUMO

Neste artigo apresentamos um levantamento do estado da arte sobre problemas de roteirização de veículos capacitados com restrições de carregamento bi e tridimensional. Foram considerados trabalhos publicados entre 2009 e 2016, cobrindo as versões originais e variações dos problemas estudados. Também compõe este estudo uma classificação dos trabalhos quanto a sua relevância, bem como um levantamento dos métodos de solução mais populares.

PALAVRAS CHAVE. 2L-CVRP, 3L-CVRP, Revisão Literária

Tópicos: Introdução; Descrição; Procedimentos; Estado da Arte; Conclusões

ABSTRACT

In this article, we present a state of the art survey on capacitated vehicle routing problems with two and three dimensional loading constraints. Works published between 2009 and 2016 have been considered, covering the original versions and variations of the studied problems. This study also compiles a classification of the works regarding their relevance, as well as a survey of the most popular solution methods.

KEYWORDS. 2L-CVRP, 3L-CVRP, Literary Review

Paper topics: Introduction; Description; Procedures; State of Art; Conclusions

1. Introdução

Introduzidos por [Dantzig e Ramser 1959] e [Clarke e Wright 1964], o Problema de Roteamento de Veículos – Vehicle Routing Problem (VRP) é uma extensão do Problema do Caixeiro Viajante (Traveling Salesman Problem TSP), e assim como o TSP, o VRP é comprovadamente um problema NP-Difícil [Garey e Johnson, 1981]. [Christofides 1985] define o VRP como um problema de distribuição, no qual veículos localizados em um determinado depósito central devem ser programados de forma a serem capazes de visitar todos os clientes (que estão geograficamente dispersos), através de um número finito de rotas que permita atender a uma demanda previamente conhecida. O Problema da Roteirização de Veículos Capacitados com Restrições de Carregamento Bidimensional (Two-Dimensional Loading Capacitated Vehicle



Routing Problem - 2L-CVRP) [Iori, Gozalez e Vigo 2007] assume ainda que as demandas dos clientes consistem em caixas de dado peso, cujas bases retangulares devem ser empacotadas na superfície bidimensional de carga de cada veículo, sem exceder a capacidade máxima de peso suportado pelo veículo (empacotamento de retângulos em um retângulo). Um problema relacionado ao 2L-CVRP é o Problema da Roteirização de Veículos Capacitados com Restrições de Carregamento Tridimensional (Three-Dimensional Loading Capacitated Vehicle Routing Problem - 3L-CVRP) [Gendreau et al. 2006]. No 3L-CVRP as demandas dos cliente também são caixas, mas o problema requer uma alocação tridimensional dessas caixas na superfície tridimensional de carga de cada veículo (empacotamento de cuboides em um cuboide).

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica para o problema de roteamento de veículos com restrições de carregamento. Algumas revisões de literatura sobre esse tema foram publicadas nos últimos anos [Wang et al. 2009],[Iori e Martello 2010],[Ranck e Yanasse 2010] e [Iori e Martello 2013], enquanto uma recente revisão realizada por [Arpini e Rosa 2017] abordou somente o CVRP com carregamento bidimensional.

Neste artigo, as revisões anteriores, inclusive a mais recente, foram atualizadas com novos trabalhos, sendo importante a constante revisão da literatura devido a sua alta taxa de crescimento. Aqui, assim como em [Arpini e Rosa 2017], foi utilizada uma metodologia de revisão, a fim de realizar uma análise detalhada da literatura sobre o tema. Serão também abordados neste trabalho aspectos não tratados antes, tais como: análise quantitativa dos métodos e soluções utilizadas, abordagens mais utilizadas e resultados obtidos para um conjunto de instâncias. Como contribuição, será criado um referencial que permita inclusive a comparação direta entre as abordagens utilizadas no 2L-CVRP e 3L-CVRP, facilitando a identificação de possíveis lacunas para criação de novas abordagens.

2. Descrição dos problemas 2L-CVRP e 3L-CVRP

O 2L-CVRP foi da seguinte forma apresentado por [Gendreau et al. 2008]. Seja $G = (V, E)$ um grafo completo e não direcionado, onde V é um conjunto de $n+1$ vértices correspondente ao depósito central (vértice 0) e aos clientes (vértices $1, \dots, n$) e E é o conjunto de arestas. A cada aresta $(i, j) \in E$ está associado um custo c_{ij} que corresponde ao trajeto de i para j . No depósito central encontra-se disponível uma frota de vh veículos homogêneos. Cada veículo tem uma capacidade de peso igual a D e uma superfície de carregamento retangular de comprimento L e largura W . A demanda de cada cliente i ($i = 1, \dots, n$) consiste de m_i itens retangulares, cujos peso total é d_i . Cada item I_{ik} ($i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, m_i$) tem comprimento l_{ik} e largura w_{ik} . A superfície total de todos os itens demandados pelo cliente i é $a_i = \sum_{k=1}^{m_i} l_{ik} w_{ik}$. Ainda

segundo [Gendreau et al. 2008], os itens devem ser alocados nas superfícies de carregamento sem que sejam girados. L e W devem ser paralelos a suas respectivas bordas na superfície de carga.

O 3L-CVRP combina roteirização de veículos com carregamento em três dimensões. Introduzido por [Gendreau et al. 2006], o 3L-CVRP pode ser representado da seguinte forma: Temos o mesmo grafo $G = (V, E)$, descrito acima, onde cada aresta $(i, j) \in E$ está associada a um custo c_{ij} ; temos uma frota de vh veículos idênticos, cada um dos quais tem um custo fixo F , uma capacidade de peso D , e um espaço de carga retangular tridimensional de largura W , altura H e comprimento L . O espaço de carga disponível é dado por $S = W \times H \times L$. Supondo que a abertura traseira de cada veículo seja tão grande quanto $(W \times H)$ para cargas e descargas, cada cliente i ($i = 1, \dots, n$) requer um conjunto de m_i itens tridimensionais I_{ik} ($k = 1, \dots, m_i$) com largura w_{ik} , altura h_{ik} e comprimento l_{ik} . Todos os itens demandados pelo cliente i totalizam um peso d_i e ocupam um

volume $v_i = \sum_{k=1}^{m_i} l_{ik} w_{ik} h_{ik}$. Tanto no 2L-CVRP quanto no 3L-CVRP há que se determinar as

rotas de mínimo custo a serem seguidas pelos veículos, obedecendo à restrição de que cada cliente deve ser atendido por um único veículo e, em cada veículo, existe uma acomodação possível das cargas e a capacidade de peso não é excedida.



3. Procedimentos metodológicos

A metodologia de revisão sistemática de literatura de [Brereton et al. 2007] propõe a divisão da pesquisa em fases. Entretanto, aqui as atividades realizadas dentro de cada uma das fases foram adaptadas, criando (ainda que discretas) diferenças com a metodologia original.

FASE I: i) definição das bases de pesquisa – as bases de pesquisa foram definidas através de sua liberdade de acesso, sendo assim foram selecionadas: Science Direct, Portal de Periódicos da CAPES e Google Academic; ii) definição dos termos da pesquisa – nessa etapa foi observado o esquema proposto por [Padilla 2015] e a tabela de taxonomias de [Braekers, Ramaekers e Nieuwenhuyse 2016], tendo sido utilizados os seguintes termos: “2L-Cvrp”, “3L-Cvrp”, “Two-Dimensional Loading Capacitated Vehicle Routing Problem”, “Three-Dimensional Loading Capacitated Vehicle Routing Problem”. iii) refinamento I – filtros – utilizou-se os seguintes filtros: trabalhos revisados por pares, publicados entre 2009 e 2016 e preferencialmente em periódicos com fator de relevância igual ou superior a 800 (avaliação Elsevier). FASE II: iv) refinamento II – semelhantemente às abordagens anteriores, a seleção dos trabalhos candidatos deu-se pela leitura de seus títulos, abstracts e resumos, entretanto, diferentemente das outras propostas, determinou-se que, após coletados os trabalhos um adicional correspondente a até 30% do total coletado seria recuperado dentre os descartados; FASE III – v) extração de dados – a extração dos dados para análise e elaboração dos resultados foi realizada com a completa leitura dos trabalhos selecionados (quanto abertos) e exaustiva pesquisa (quando restritos); vi) apresentação dos resultados – os dados foram sumarizados, classificados e condensados, sendo a apresentação de breves resumos parte do processo de apresentação dos resultados.

4. Resultados

Assim como em [Arpini e Rosa 2017], realizou-se primeiramente a quantificação dos trabalhos quanto a categoria dos problemas apresentados, sendo consideradas as categorias apresentadas na **Figura 1**.

Figura 1. Lista de siglas utilizadas na classificação dos problemas

Siglas genéricas (exceto a 3DO), nas demais, itens bidimensionais adicionarão o nº 2 antes da sigla e tridimensionais adicionarão nº 3			
SOL	Sequential Oriented Loading - Restrição de Sequenciamento e itens com orientação fixa	UNL	Unrestricted Non-Oriented Loading - Itens rotacionados sem restrições de carregamento
UOL	Unrestricted Oriented Loading - Itens com orientação fixa e sem restrições de sequenciamento	F	Restrição de itens frágeis
SRL	Sequential Rotated Loading - Restrição de Sequenciamento e itens podem ser rotacionados	LIFO	Last in first out - Último item inserido deverá ser o primeiro a ser removido
URL	Unrestricted Rotated Loading - Itens podem ser rotacionados e sem restrições de sequencia	EMP	Restrição de Empilhamento
ROL	Rear Oriented Loading - Itens com orientação fixa e de carregamento traseiro	3DO	Restrição de cargas tridimensionais somente
RNL	Rear Non-Oriented Loading - Itens podem ser rotacionados e carregamento traseiro	RECT	Restrição de somente itens retangulares

Fonte: Elaborado pelos autores

4.1. O problema 2L-CVRP original

Aplicando a meta-heurística *Ant Colony Optimization* (ACO) e considerando as categorias 2|UO|L, 2|RO|L, 2|RN|L e 2|UN|L, [Fuellerer et al. 2009] obtiveram bons resultados. Utilizando *Guided Tabu Search* (GTS) para o roteamento e as heurísticas (*Bottom-Left Fill (W-axis)* – BLF-W; *Bottom-Left Fill (L-axis)* – BLF-L; *Max Touching Perimeter heuristic* – MTP; *Max Touching Perimeter No Walls heuristic* – MTPNW e *Min Area heuristic* – MA) para o carregamento 2|SO|L e 2|UO|L, [Zachariadis et al. 2009] também obtiveram bons resultados. [Azevedo et al. 2009] propuseram a combinação entre *Branch-and-Cut* (B&C) e *Tabu Search* (TS) para o roteamento e as heurísticas *Bottom Left Decreasing Width* – BLDW de [Baker et al. 1980] e *OneBin Algorithm* de [Martello et al. 2000] para o carregamento 2|SO|L e 2|UO|L. [Strodl et al. 2010] aplicaram *Variable Neighborhood Search* (VNS) para o roteamento e para o empacotamento 2|UO|L um método heurístico e outro exato. [Leung et al 2010] conseguiram bons resultados utilizando SA juntamente com um conjunto de heurísticas de empacotamento. Também em 2010, [Araujo 2010] propôs a utilização de TS para solução do 2L-CVRP.



Em 2011, [Leung et al. 2011] propuseram a Extended Guided Tabu Search (EGTS) para solucionar o 2L-CVRP utilizando as restrições de empacotamento de [Zachariadis et al. 2009] (2|SO|L e 2|UO|L). Combinando *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP) e *Evolutionary Local Search* (ELS), Duhamel et al. (2011a) obtiveram resultados interessantes. Aplicando Algoritmos Genéticos (*Genetic Algorithms – GA*), [Shen e Murata 2012] abordaram o 2L-CVRP considerando coletas sem entregas, logo o veículo deveria sair vazio do depósito. [Zachariadis et al. 2013] propuseram a *Promise Routing-Memory Packing*. Bons resultados para solução foram também observados no trabalho de [Bin et al. 2013] que utilizaram *Artificial Bee Colony Algorithm* (ABC) e outras três heurísticas de empacotamento (BLF, MTP e LBFH). [Dominguez et al. 2014] utilizaram a combinação entre um método de Programação Linear Inteira (PLI) e *Multistart Biased-Randomized Algorithm* (MS-BR). Buscando boas soluções [Abdal-Hammed et al. 2014] utilizaram *Large Neighborhood Search* (LNS). [Wei et al. 2015] utilizaram *Variable Neighborhood Search* (VNS). [Hokama et al. 2016] utilizam a combinação do *Branch-and-Cut* com a meta-heurística *Biased Random-Key Genetic Algorithm* (BRKGA).

4.2. Variações do 2L-CVRP

[Muñoz 2011] propôs o uso das heurísticas *Clark & Wright* e *Floor & Ceiling* para resolver o CVRP *with Two-dimensional Loading Constraints and Handling Costs* (2L-CVRP-H), cujo objetivo se estende a reduzir os custos da manipulação da carga no local. Utilizando Algoritmos Genéticos, [Shen e Murata 2012] abordaram o 2L-CVRP considerando coletas em vez de entregas, logo o veículo deveria sair vazio do depósito. Fazendo uso da meta-heurística *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA-II), [Hamdi-Dhaoui et al. 2012] buscaram resolver o 2L-CVRP *with Partial Conflicts* (2LPC-CVRP). Os autores buscaram minimizar os custos de transporte e o balanceamento da carga entre as rotas. Para questões de empacotamento os autores aplicaram uma adaptação da heurística BLF. [Zachariadis et al. 2013] propuseram a meta-heurística *Promise Routing-Memory Packing* para solução do 2L-CVRP. Abordando o 2L-CVRP *with Heterogeneous Fleet Vehicle* (2L-HFVRP), [Leung et al. 2013] propuseram o método *SA with Heuristic Local Search* (SA_HLS). Os resultados obtidos pelos autores ficaram entre os melhores publicados até então. [Khebbache-Hadji et al. 2013] abordaram o 2L-CVRP *with Time Windows* (2L-CVRPTW) e apresentaram um modelo de Programação Não-Linear Inteira Mista, seis heurísticas, e uma implementação da meta-heurística *Memetic Algorithm* (MA). [Pinto et al. 2016] propuseram um algoritmo *Branch-and-Price* (BaP), para resolver o 2L-CVRP com número ilimitado de veículos, tendo comprovado, através de testes, a eficiência do algoritmo. [Côté et al. 2013] abordaram o *Vehicle Routing with Stochastic Two-Dimensional Items* (S2L-CVRP). Se acontecer que nem todos os itens possam ser carregados em um veículo, os itens de um ou mais clientes são colocados de lado, o que leva a uma penalidade (custo de recurso). O objetivo é minimizar os custos de roteirização e custos de recurso. Para resolver o problema o problema foi modelado como um programa estocástico de dois estágios e resolvido com o método *Integer L-shaped* de [Laporte e Louveaux 1993]. [Martínez e Amaya 2013] foram os primeiros a abordarem o VRP *with Multi-Trips, Time Windows and Two-Dimensional Circular Loading Constraints* (VRPMTW-CL). Utilizaram, para resolver o problema, uma heurística de duas etapas que utiliza a *I1 Sequential Insertion Heuristic* (SI1SIH) descrita por [Solomon 1987] para obter uma solução inicial e TS para melhorar essa solução.

Abordando o *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Two-Dimensional Loading Constraints* (2L-HFVRP), [Dominguez et al. 2016] utilizaram *biased randomization*, assim como em [Dominguez et al. 2014], possibilitando a redução dos custos totais. [Arpini et al. 2014] abordam em seu trabalho o *Weight Balance Two-Dimensional Loading Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem* (WB2L-HFVRP), propondo como solução um modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM). Os autores foram os primeiros a abordar esse problema. Abordando o VRP *with Simultaneous Pick-Ups and Deliveries and Two-Dimensional Loading Constraints* (2L-SPD) [Zachariadis et al. 2016] propuseram um sistema de otimização



que memoriza as melhores técnicas utilizadas. [Rivero et al. 2016] abordam o *Two-dimensional Loading Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet, Sequential Loading, and Item Rotation* (2L-HFVRP-SR). Para solução do problema é proposto o *Iterated Local Search Framework*, denominado *ILS-biased randomization*. Por fim, [Annouch et al. 2016] propuseram um modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) para solução do *Multi-depot Two-Loading Split Delivery and Pickup using Heterogeneous fleet of Vehicles with Time Windows vehicle Routing Problem and with Multi-Product* (2L-SDP-HVRPTW-MP), utilizando o CPLEX para buscar uma solução.

4.3. O problema 3L-CVRP original

[Tarantilis et al. 2009] propõem como solução a combinação da *Tabu Search* (TS) com *Guided Local Search* (GLS). Segundo os autores, os resultados comprovam a qualidade do algoritmo. [Fueller et al. 2010] propuseram a combinação de *Ant Colony Optimization* (ACO) e *Tabu Search* (TS). [Tao e Wang 2010] propuseram a heurística *Least Waste Packing* (LWP) para o empacotamento e *Tabu Search* (TS) para o problema das rotas. [Wang et al. 2010] propuseram também a combinação de duas heurísticas distintas para o problema do carregamento e *Tabu Search* (TS) para o problema de roteirização. Utilizando TS, [Araujo 2010] conseguiu bons resultados em comparação com os de [Gendreau et al. 2008]. [Duhamel et al. 2011b] propuseram a combinação de duas meta-heurísticas, GRASP e ELS, para o problema do empacotamento e roteirização simultaneamente, conseguindo bons resultados. [Wisniewski 2011] propôs, para solução do 3L-CVRP, a meta-heurística *Tabu Search* com avaliação *first-improvement* da vizinhança para o roteamento (TSFI), obtendo resultados comparáveis com os melhores observados na literatura. [Bortfeldt 2012] propôs um algoritmo híbrido que inclui *Tabu Search Algorithm* (TSA) para definição das rotas e *Tree Search Algorithm* (TRSA) para o problema do empacotamento. Os resultados obtidos foram promissores. [Guimarães 2012] propôs uma heurística que consiste em primeiramente agrupar os clientes conforme sua demanda volumétrica, e, que em um segundo estágio, constrói uma rota inicial, refinando-a sequencialmente (2sH). Em testes comparativos, a proposta apresentou resultados satisfatórios. Propondo um algoritmo que combina *Genetic Algorithm* e *Tabu Search* (GATS), [Miao et al. 2012] obtiveram, até o momento da publicação de seu trabalho, os melhores resultados para grandes instâncias do 3L-CVRP.

[Ren et al. 2012] propuseram a utilização do método exato *Branch-and-Bound Algorithm Based on set Partition* (BaBABP) para solucionar o 3L-CVRP. [Ruan et al. 2013] apresentaram um algoritmo híbrido que combina *Honey Bee Mating Optimization* (HBMO) e outras seis heurísticas para o problema da roteirização e empacotamento, nessa ordem. [Junqueira et al. 2013] apresentaram como solução para o 3L-CVRP um modelo de programação linear inteira, combinado com heurísticas. Propondo uma solução que combina *Local Search* (LS) e *Simulated Annealing with Large-Neighborhood Search* (SALNS), [Ceschia et al. 2013] conseguiram resultados equivalentes aos dos melhores métodos apresentados para o 3L-CVRP. Apresentando uma solução híbrida que combina GRASP e ELS, [Lacomme et al. 2013] conseguiram bons resultados para o 3L-CVRP. [Mahvash et al. 2015] propuseram a heurística *Column Generation* (CG) para encontrar uma solução para o 3L-CVRP. Segundo os autores, esta técnica mostrou-se mais eficiente do que *Tabu Search*, até então proposta na literatura. Propondo uma heurística denominada *Improved Least Waste* (ILW), [Tao e Wang 2015] conseguiram resultados superiores à grande parte das propostas para solução do 3L-CVRP. [Escobar et al. 2015] propuseram uma meta-heurística híbrida baseada em uma adaptação do algoritmo de *Clark & Wright* e do GRASP. Utilizaram também, para criação de uma solução inicial, o *Granular Tabu Search* (GST). [Hokama et al. 2016], já citado neste trabalho, aplicou a mesma técnica que utilizaram no 2L-CVRP, obtendo resultados semelhantes. [Escobar-Falcón et al. 2016] apresentaram como solução uma metodologia composta de duas fases: a primeira usa um procedimento B&C baseado em cortes para obter soluções para o CVRP. A segunda valida os resultados da primeira fase, verificando as restrições de empacotamento de cada rota, utilizando GRASP.



4.4. Variações do 3L-CVRP

Apresentando duas novas heurísticas baseadas em Tabu Search, [Zhu et al. 2012] propuseram *Deepest-Bottom-Left-Fill heuristic* (DBLFH) e *Maximum Touching Area heuristic* (MTAH) para os problemas 3L-CVRP e *Multi-Drop Three-Dimensional Loading Constraints Capacitated Vehicle Routing Problem* (M3L-CVRP), tendo o algoritmo superado os melhores algoritmos até então para 20 dentre 27 instâncias consideradas. [Wei et al. 2014] introduziram e propuseram como solução para o *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Three-Dimensional Loading Constraints* (3L-HFVRP), uma heurística adaptada denominada *adaptive variable neighborhood search* (AVNS). Trabalhando com o *Three-dimensional Loading Vehicle Routing Problem with Clustered Backhauls* (3L-VRPCB), [Bortfeldt et al. 2015] conseguiram bons resultados aplicando dois algoritmos híbridos, utilizando *Large Variable Neighborhood Search* (LVNS) para o problema das rotas e *Tree Search heuristic* (TSh) para o empacotamento. Sugerindo a utilização de *Local Search* (LS), [Pace et al. 2015] abordaram o *Heterogeneous Fleet CVRP with Time Windows and Three-Dimensional Loading Constraints* (3L-HFCVRPTW). Introduzindo uma nova variação do 3L-CVRP denominada *CVRP minimizing Fuel consumption under three-dimensional loading constraints* (3L-FCVRP), [Zhang et al. 2015] propuseram a utilização da *Evolutionary Local Search* (ELS) combinada com os mais eficientes métodos propostos. Segundo os autores, a proposta encontrou soluções melhores para diversas instâncias. [Männel e Bortfeldt 2016] propuseram uma extensão do *Pickup and Delivery Problem* (PDP) clássico associado ao 3L-CVRP, denominado *Three-Loading Pickup and Delivery Problem* (3L-PDP). Os autores propõem um algoritmo híbrido constituído de modificações no *Large Neighborhood Search* (LNS) para definição das rotas; e da heurística *Tree Search* (TS) para o problema do empacotamento.

4.5. Análise Quantitativa Classificatória

Após analisados os dados, foi primeiramente realizada classificação dos autores quanto ao quantitativo geral de publicações, o resultado é apresentado na **Figura 2**.

Figura 2. Classificação dos autores quanto ao número de publicações
Classificação global do número de publicações (2L-CVRP/Variantes | 3L-CVRP/Variantes)

Autor	qtd
Zachariadis et al.; e Leung et al.	3
Dominguez et al.; Tao e Wang; Bortfeldt et al.; Duhamel et al.; Wei et al.; e Fueller et al.	2
Azevedo et al.; Shen e Murata; Abdal-Hammed et al.; Muñoz et al.; Hamdi-Dhaoui et al.; Côté et al.; Arpini et al.; Strodl et al.; Bin et al.; Pinto et al.; Khebbache-Hadji et al.; Martínez e Amaya; Annouch et al.; Rivero et al.; Tarantilis et al.; Wang et al.; Araujo; Wisniewski; Miao et al.; Guimarães; Ren et al.; Ruan et al.; Junqueira et al.; Ceschia et al.; Lacomme et al.; Escobar et al.; Mahvash et al.; Hokama et al.; Escobar-Falcón; Zhu et al.; Pace et al.; Zhang et al.; e Männel e Bortfeldt	1

Fonte. Elaborado pelos autores.

Os dados extraídos após a leitura dos trabalhos foram classificados em dois grandes grupos: 2L-CVRP, **Figura 3** (original e variantes - tendo sido consideradas por padrão as instâncias propostas por [Gendreau et al 2008]) e 3L-CVRP, **Figura 4** (original e variantes - tendo sido consideradas por padrão as instâncias propostas por [Gendreau et al 2006]).

Figura 3. Dados extraídos dos trabalhos focados em 2L-CVRP e suas variantes.



2L-CVRP - Original				Resultado médio							
Autor	Características	Método	Instância	SO/L	UO/L	SR/L	UR/L	RO/L	RNL	UNL	
Fueller et al. (2009)	C,E	ACO MH	36		1073,20				1111,77	1071,84	1050,55
Zachariadis et al. (2009)	C,E	GTS MH	36	2565,41	2595,41						
Azevedo et al. (2009)	C,E	B&C H/E	36	682,00	682,00						
Araujo (2010)	C,E	TS MH							Utilizou a Classe 2 de definição de Bins		
Strodl et al. (2010)	C,E	VNS MH			X						
Leung et al. (2010)	C,E	AS MH		X	X						
Leung et al. (2011)	C,E	EGTS MH	36	1118,16	1085,10						
Duhamel et al. (2011a)	C,E	GRASP x ELS MH			X						
Shen e Murata (2012)	C,R	GA MH	---	14607,03					Utilizando 100 clientes, 273 itens e 27 veículos		
Zachariadis et al. (2013)	C,E	PRMP MH		X	X				X		
Bin et al. (2013)	C,E	ABC H/MH		X	X				X		
Abdal-Hammed et al. (2014)	C,E	LNS H	20		480,10						
Domínguez et al. (2014a)	C,E	PLI e MS-BR H/MH		X	X				X		
Hokama et al. (2015)	C,E	BaC e BRKGA MH	27	19,84					Utiliza as instâncias definidas por Côté et al. (2013)		
Wei et al. (2015)	C,E	VNS MH		X	X						
Pinto et al. (2016)	C,E	TVNS e BaP H/MH		X	X						
2L-CVRP - Variantes											
Muñoz et al. (2011)	2L-CVRP-H C,E	PIM, C&W e FC H/E	21		445,78				445,78		
Hamdi-Dhaoui et al. (2012)	2LPC-CVRP C,E	NSGA-II MH	16	113,38							
Leung et al. (2013)	2L-HFVRP C,E, FH	SA, HLS MH	36	4567,29	1788,36						
Côté et al. (2013)	S2L-CVRP C,E,ET	PLIM e L-ShapeD H/E	1703	736,4					Utiliza instâncias próprias - Resultado por Total CPU		
Khebbache-Hadjj et al. (2013)	2L-CVRPTW C,E, JT	PNLM e MA E/H/MH			X						
Martínez e Amaya et al. (2013)	VRPM-TW-CL C,E, JT, MV	PLIM, TS e S11SIH E/MH			X						
Arpini et al. (2014)	WB2L-HFVRP C,E, CL	PLIM Exato	833R1	580,98					Utiliza instâncias próprias - Resultado em Km		
Domínguez et al. (2014)	2L-HFVRP C,E, FH	MS-BR MH			X				X		
Zachariadis et al. (2016)	2L-SPD C,E, R	O. Framework MH/H	36	77,8						79,4	
Anouch et al. (2016)	2L-SDP-HVRPTW-MP C,E,R,MD,MV, JT	PLIM Exato		X	X						
Rivero et al. (2016)	2L-HFVRP-SR C, E, FH	ILS-biased Rand. MH				X					
Total Trabalhos: 27 2L-CVRP Original: 16 2L-CVRP Variantes: 11 Métodos Exatos: 7 Heurísticas: 9 Meta-Heurísticas: 21 C: 27 E: 26 R: 3 FH: 3 ET: 1 CL: 1 JT: 3 MV: 2 MD: 1 SO/L: 17 UO/L: 19 SR/L: 1 UR/L: 0 RO/L: 7 RNL: 1 UNL: 1											

Fonte: Elaborado pelos autores.

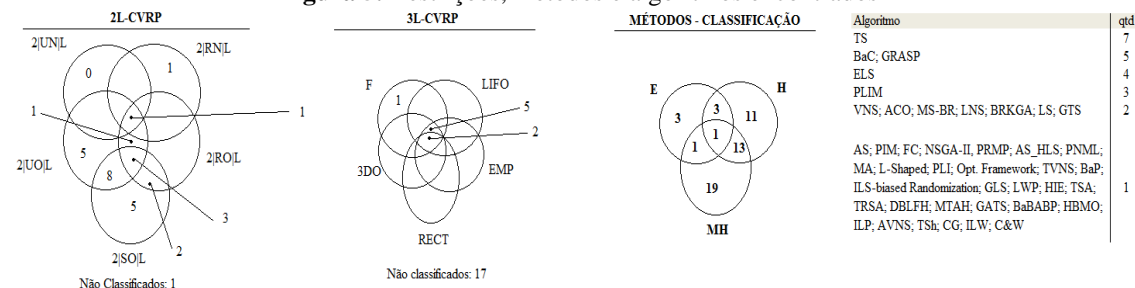
Figura 4. Dados extraídos dos trabalhos focados em 3L-CVRP e suas variantes.

3L-CVRP - Original				Resultado médio						
Autor	Características	Método	Instância	F	LIFO	EMP	3DO	RECT	Valor	
Tarantilis et al. (2009)	C, E	TS e GLS MH/H		X	X	X	X		997,18	
Fueller et al. (2010)	C, E	ACO e TS MH/H		X	X	X	X		966,67	
Tao e Wang (2010)	C, E	LWP e TS H	27	X	X	X	X		4848,3	
Wang et al. (2010)	C, E	TS MH/H	27	X	X	X	X		1440,01	
Araujo (2010)	C,E	TS MH		Instâncias próprias - utilizou também instância 27 de Gendreau et al. (2006)						1679,23
Duhamel et al. (2011)	C, E	GRASP e ELS MH								
Wisniewski (2011)	C, E	TSFI MH	27	X					1560,06	
Bortfeldt et al. (2012)	C, E	VRLH H	27	X	X	X	X	X	1541,99	
Miao et al. (2012)	C, E	GATS MH		X	X	X	X		948,92	
Guimarães (2012)	C, E	2sH H							1026	
Ren et al. (2012)	C, E	BaBABP E								
Ruan et al. (2013)	C, E	HBMO H								
Junqueira et al. (2013)	C, E	ILP H/MH								
Ceschia et al. (2013)	C, E	LS e SALNS H/MH								
Lacomme et al. (2013)	C, E	GRASP e ELS MH								
Tao e Wang (2015)	C, E	ILW H								
Escobar et al. (2015)	C, E	C&W, GRASP e GTS MH								
Mahvash et al. (2015)	C, E	CG H							706,82	
Hokama et al. (2016)	C, E	BaC e BRKGA H/MH								
Escobar-Falcón (2016)	C, E	BaC e GRASP H/MH								
3L-CVRP - Variantes										
Zhu et al. (2012)	M3L-CVRP C, E, MD	DBLFH e MTAH H								
Wei et al. (2014)	M3L-CVRP C, E, FH	AVNS H		X	X	X	X	X	4915,7	
Pace et al. (2015)	3L-HFCVRPTW C, E, FH, JT	ILS H							2472	
Bortfeldt et al. (2015)	3L-VRPCB C, E, CB	LVNS e Tsh H/MH								
Zhang et al. (2015)	3L-FCVRP C, E	ELS H								
Männel e Bortfeldt (2016)	3L-PDP C, E, R	LNS e TS H/MH								
RESUMO Total Trabalhos: 26 3L-CVRP Original: 20 3L-CVRP Variantes: 6 Gratuitos: 9 Pagos: 16 Métodos Exatos: 1 Heurísticas: 19 Meta-Heurísticas: 15 C: 26 E: 26 R: 1 FH: 2 CB: 1 JT: 1 MD: 1 F: 8 LIFO: 7 EMP: 7 3DO: 7 RECT: 1 Não Informados: 14										

Fonte: Elaborado pelos autores.

Por fim, os dados foram classificados quanto a métodos e algoritmos aplicados, sendo o resultado apresentado na Figura 5.

Figura 5. Restrições, métodos e algoritmos encontrados



Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de [Arpini e Rosa 2017].

6. Considerações finais



Observa-se com base nos dados extraídos que relacionado ao 2L-CVRP, 57,69% da bibliografia selecionada refere-se ao problema original. Para o 3L-CVRP esse valor sobe para 76,92%. Dos métodos, considerando a aplicação pura têm-se: exatos (5,66%), heurísticos (19,64%) e meta-heurísticos (35,54%). Considerando a aplicação conjunta, têm-se: exatos com heurísticos (5,66%), exatos com meta-heurísticos (1,88%), heurísticos com meta-heurísticos (24,52%) e exatos com heurísticos e meta-heurísticos (1,88%). Quanto aos algoritmos utilizados nos 53 artigos observados, em termos de proporção têm-se: TS (13,20%), B&C e GRASP (9,43%), ELS (7,54%), PLIM (5,66%), VNS, ACO, MS-BR, LNS, BRKGA, LS e GTS (3,77%) e AS, PIM, FC, NSGA-II, PRMP, AS_HLS, PNML, MA, L-Shaped, PLI, Opt. Framework, TVNS, BaP, ILS-biased Randomization, GLS, LWP, HIE, TSA, TRSA, DBLFH, MTAH, GATS, BaBABP, HBMO, ILP, AVNS, TSh, CG, ILW e C&W (1,88%).

A pesquisa realizada auxilia na identificação de possíveis novas abordagens para o 2L-CVRP e 3L-CVRP, principalmente através do cruzamento de informações entre os referidos métodos e suas variantes.

Referências Bibliográficas

- Abdal-Hammed, M.K., Hifi, M., Wu, L. (2014) Large neighborhood search for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. In: *International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, p. 054-059, Metz, France. IEEE.
- Annouch, A., Bellabdaoui, A., e Minkhar, J. (2016) Split delivery and pickup vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *11th International Conference on Intelligent Systems: Theories and Applications (SITA)*, p. 1-6, Mohammedia, Morocco. IEEE.
- Araujo, R. R. de. (2010) Uma abordagem de resolução integrada para os problemas de roteirização e carregamento de veículos. (Tese de Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS.
- Arpini, B. P., Rosa, R. A., Amaral, A. R. S. (2014) Planejamento da Logística de Suprimento de Plataformas Offshore por meio de um Modelo Matemático Não-Linear 2L-CVRP com Frota Heterogênea e Equilíbrio Náutico. In: *Anais do XXVIII Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET*. Curitiba, PR.
- Arpini, B., P. e Rosa R., A. (2017) Uma revisão sistemática da literatura sobre o Problema de Roteirização de Veículos Capacitados com Restrições de Carregamento Bidimensional (2L-CVRP). *Revista TRANSPORTES*, v. 25, n.1, p. 61-72.
- Azevedo, B. L. P., Hokama, P. H., Miyazawa, F. K., Xavier, E. C. (2009) A branch-and-cut approach for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. In: *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – XLI SBPO*, Porto Seguro – BA, Brasil. SOBRAPO.
- Baker, B. S., Coffman Jr., E. G., Rivest, R. L. (1980). Orthogonal Packings In Two Dimensions. *Siam Journal On Computing*, v. 9, n. 4, p. 846-855.
- Bin, W., Hong, C., Zhi-Yong, C. (2013) Artificial bee colony algorithm for two-dimensional loading capacitated vehicle routing problem. In: *International Conference on Management Science and Engineering (ICMSE)*, p. 406-412, Harbin, China. IEEE.
- Bortfeldt, A. (2012). A hybrid algorithm for the capacitated vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. *Computers & Operations Research*, v.39, n.9, p. 2248-2257.
- Bortfeldt, A., Hahn, T., Männel, D., e Mönch, L. (2015) Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem with Clustered Backhauls and 3D Loading Constraints. Hagen 2014. FernUniversität in Hagen.
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuysse, I. (2016) The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, v. 99, p. 300-313.



- Ceschia, S., Schaerf, A., e Stützle, T. (2013) Local search techniques for a routing-packing problem. *Computers & industrial engineering*, v. 66 n.4, p.1138-1149.
- Christofides, N. (1985). Vehicle routing, in: E.L. Lawler, J.K. Lenstra, A.H.G. Rinnooy Kan and D.B. Shmoys, (eds.), *The Traveling Salesman Problem. A Guided Tour of Combinatorial Optimization*, Wiley, Chichester, p. 431-448.
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964) Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, v. 12, n.4, p. 568–582.
- Côté, J.-F., Gendreau, M., Potvin, J.-Y. (2013) The vehicle routing problem with stochastic two-dimensional items. *Centre Interuniversitaire de recherché sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport*, p. 145-159.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, v.6, n.1, p. 80–92.
- Dominguez, O.; Juan, A. A.; Faulin, J. A. (2014) Biased-randomized algorithm for the two-dimensional vehicle routing problem with and without item rotations. *International Transactions in Operational Research*, v. 21, n.3, p. 375-398.
- Dominguez, O.; Juan, A. A.; Barrios, B.; Faulin, J.; Agustin, A. (2016) Using biased randomization for solving the two-dimensional loading vehicle routing problem with heterogeneous fleet. *Annals of Operations Research*, v. 236, n.2, p. 383-404.
- Duhamel, C.; Lacomme, P.; Quilliot, A.; Toussaint, H. (2011a) A multi-start evolutionary local search for the two-dimensional loading capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, v. 38, n. 3, p. 617-640.
- Duhamel, C., Lacomme, P., e Toussaint, H. (2011b). A GRASP x ELS for the vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. Web Page. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00704493/document>. Acessado: 12/03/2017
- Escobar, L. M., Martínez, D. Á., Escobar, J. W., Linfati, R., e Mauricio, G. E. (2015). A hybrid metaheuristic approach for the capacitated vehicle routing problem with container loading constraints. In *Industrial Engineering and Systems Management (IESM), 2015 International Conference on IEEE*. p. 1374-1382, Seville, Spain. IEEE.
- Escobar, L. M. et al. (2015) A hybrid metaheuristic approach for the capacitated vehicle routing problem with container loading constraints. In: *Industrial Engineering and Systems Management (IESM), 2015 International Conference on IEEE*. p. 1374-1382, Seville, Spain. IEEE.
- Escobar-Falcón, L. M., Álvarez-Martínez, D., Granada-Echeverri, M., Escobar, J. W., & Romero-Lázaro, R. A.. (2016). A matheuristic algorithm for the three-dimensional loading capacitated vehicle routing problem (3L-CVRP). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, n.78, p. 09-20. Web Page. <https://dx.doi.org/10.17533/udea.redin. n78a02>. Acessado: 16/03/2017
- Fuellerer, G., Doerner, K. F., Hartl, R. F., & Iori, M. (2009). Ant colony optimization for the two-dimensional loading vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, v.36, n.3, p. 655-673.
- Fuellerer, G., Doerner, K. F., Hartl, R. F., e Iori, M. (2010). Metaheuristics for vehicle routing problems with three-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, v. 201 n.3, p. 751-759.
- Garey, M., R. and Johnson, D., S. (1981) Approximation algorithms for bin packing problems: A survey. In: *Analysis and design of algorithms in combinatorial optimization*. Springer Vienna, 1981. p. 147-172.



- Gendreau, M., Iori, M., Laporte, G., e Martello, S. (2006). A tabu search algorithm for a routing and container loading problem. *Transportation Science*, v. 40, n. 3, p. 342-350.
- Gendreau, M., Iori, M., Laporte, G., & Martello, S. (2008) A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *Networks*, v. 51, n. 1, p. 4-18.
- Guimarães, T. A. (2012). Uma nova abordagem heurística para a resolução do problema do roteamento de veículos capacitados com restrições tridimensionais de carregamento. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia.
- Hokama, P., Miyazawa, F. K., & Xavier, E. C. (2016). A branch-and-cut approach for the vehicle routing problem with loading constraints. *Expert Systems with Applications*. v. 47, p. 1-13.
- Hamdi-Dhaoui, K. ; Labadie, N.; Yalaoui, A. (2012) Problème de tournées de véhicules avec chargement bidimensionnel et contraintes de conflits partiels multi-objectif. *Proceedings of MOSIM 2012, 9th International Conference on Modeling, Optimization and SIMulation*, Bordeaux, France. MOSIM.
- Iori, M., Salazar-González, J. J., e Vigo, D. (2007). An exact approach for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *Transportation Science*, v. 41, n.2, p. 253-264.
- Iori, M., e Martello, S. (2010) Routing problems with loading constraints. *Top*, v. 18, n. 1 p. 4-27.
- Iori, M.; Martello, S. (2013) An annotated bibliography of combined routing and loading problems. *The Yugoslav Journal of Operations Research*. v. 23, n. 3, p. 311-326.
- Junqueira, L., Oliveira, J. F., Carravilla, M. A., e Morabito, R. (2013). An optimization model for the vehicle routing problem with practical three-dimensional loading constraints. *International Transactions in Operational Research*, v. 20, n.5, p. 645-666.
- Junqueira, L., e Morabito, R. (2015). Heuristic algorithms for a three-dimensional loading capacitated vehicle routing problem in a carrier. *Computers & Industrial Engineering*. v.88, p. 110-130.
- Khebbache-hadji, S., Prins, C., Yalaoui, A., Reghioui, M. (2013) Heuristics and memetic algorithm for the twodimensional loading capacitated vehicle routing problem with time windows. *Central European Journal of Operations Research*, v. 21, n. 2, p. 307-336
- Labadie, N.; Prins, C. (2012) Vehicle Routing Nowadays: Compact Review and Emerging Problems. In: Mejía, G.; Velasco, N. (Ed.). *Production systems and supply chain management in emerging countries: best practices*, Springer Berlin Heidelberg, p. 141-166.
- Lacomme, P., Toussaint, H., e Duhamel, C. (2013). A GRASP× ELS for the vehicle routing problem with basic three-dimensional loading constraints. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. v. 26, n.8, p. 1795-1810.
- Leung, S. C. H., Zheng, J., Zhang, D., Zhou, X. (2010). Simulated annealing for the vehicle routing problem with twodimensional loading constraints. *Flexible services and manufacturing journal*. v.22, p. 61-82.
- Leung, S. C., Zhou, X., Zhang, D., e Zheng, J. (2011). Extended guided tabu search and a new packing algorithm for the two-dimensional loading vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*. v. 38, n.1, p. 205-215.
- Leung, S. C. H., Zhang, Z., Zhang, D., Hua, X., Lim, M. K. (2013) A meta-heuristic algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*. v. 225, p. 199–210.



Mahvash, B., Awasthi, A., e Chauhan, S. (2015). A column generation based heuristic for the capacitated vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. *IFAC-PapersOnLine*. v. 48, n.3, p. 448-453.

Männel, D., e Bortfeldt, A. (2016). A hybrid algorithm for the vehicle routing problem with pickup and delivery and three-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, v. 254, n.3, p. 840-858.

Martello, S., Pisinger, D., Vigo, D. (2000) The Three-dimensional Bin Packing Problem. *Operations Research*, v. 48, n.2, p. 256-267.

Martínez, L. e Amaya, C. A. (2013) A vehicle routing problem with multi-trips and time windows for circular items. *Journal of the Operational Research Society*. v. 64, n. 11, p. 1630-1643.

Miao, L., Ruan, Q., Woghiren, K., e Ruo, Q. (2012). A hybrid genetic algorithm for the vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. *RAIRO-Operations Research*. v. 46, n.1, p. 63-82.

Muñoz, A. L. (2011). Solución al problema de ruteo de vehículos con restricciones de capacidad y reordenamiento de carga en los sitios de demanda. *Tesis (Magíster en Ciencias de la Ingeniería)--Pontificia Universidad Católica de Chile*, Chile.

Padilla H. N., Montoya-Torres, J. R., López F., J., Nieto I., S., e Felizzola J., H. (2015). A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots. *Computers & Industrial Engineering*. v. 79, p. 115-129.

Pace, S., Turkey, A., Moser, I., e Aletí, A. (2015), Distributing Fibre Boards: A Practical Application of Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Procedia Computer Science*, v. 51, p. 2257-2266.

Passos, U., R., C., Matias, I., O., Pereira, M., A., Passos, C., O., E., S. (2015) Um Estudo Comparativo Entre Técnicas De Inteligência Computacional Para O Reconhecimento Ótico De Caracteres Manuscritos. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - XLVII SBPO*. Porto de Galinhas, PE, Brazil. SOBRAPO.

Pinto, T., Alves, C., e de Carvalho, J. V. (2016). A Branch-and-Price Algorithm for the Vehicle Routing Problem with 2-Dimensional Loading Constraints. In: *International Conference on Computational Logistics*. Springer International Publishing. p. 321-336.

Ren, J., Tian, Y., e Sawaragi, T. (2012). An exact algorithm for the three-dimensional loading capacitated vehicle routing problem. *International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling*. v. 4, n.3-4, p. 317-332.

Ranck Júnior, R.; Yanasse, H. H. (2010) O Problema Integrado de Carregamento e Roteamento de Veículos: uma revisão parcial dos trabalhos da literatura. In: *X Worcap dos Cursos de Mestrado e Doutorado em Computação Aplicada do INPE*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos – SP. INPE.

Rivero, O. L. D., Pérez, A. A. J., de la Nuez Pestana, I. A., & Ouelhadj, D. (2016). An ILS-biased randomization algorithm for the two-dimensional loading HFVRP with sequential loading and items rotation. *Journal of the Operational Research Society*. vol. 67, n. 1, p. 37-53.

Ruan, Q., Zhang, Z., Miao, L., e Shen, H. (2013). A hybrid approach for the vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. *Computers & Operations Research*. v. 40, n.6, p. 1579-1589.

Shen, Y. e Murata, T. (2012) Pick-up Scheduling of Two-dimensional Loading in Vehicle Routing Problem by using GA. In: *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, vol. 2, p. 1532-1537, Hong Kong. IMECS.



- Solomon, M., M. (1987) Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints. *Operations Research*. v. 35, p. 254–265.
- Strodl, J., Doerner, K. F., Tricoire, F., e Hartl, R. F. (2010) On index structures in hybrid metaheuristics for routing problems with hard feasibility checks: An application to the 2-dimensional loading vehicle routing problem. In: *International Workshop on Hybrid Metaheuristic*, p. 160-173. Springer Berlin Heidelberg.
- Tao, Y., e Wang, F. (2010). A new packing heuristic based algorithm for vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. In: *International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, p. 972-977, Toronto, Canada. IEEE.
- Tao, Y., e Wang, F. (2015). An effective tabu search approach with improved loading algorithms for the 3L-CVRP. *Computers & Operations Research*, nº 55, p. 127-140.
- Tarantilis, C. D., Zachariadis, E. E., e Kiranoudis, C. T. (2009). A hybrid metaheuristic algorithm for the integrated vehicle routing and three-dimensional container-loading problem. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. v.10, n.2, p. 255-271. IEEE.
- Wang, F.; Tao, Y.; Shi, N. (2009) A survey on vehicle routing problem with loading constraints. In: *Computational Sciences and Optimization, CSO 2009*. pág. 602-606. Sanya, Hainan, China. IEEE.
- Wang, L., Guo, S., Chen, S., Zhu, W., e Lim, A. (2010). Two natural heuristics for 3D packing with practical loading constraints. In: *Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence*. p. 256-267. Springer Berlin Heidelberg.
- Wei, L., Zhang, Z., e Lim, A. (2014). An adaptive variable neighborhood search for a heterogeneous fleet vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. *IEEE Computational Intelligence Magazine*. v.9, n.4, p. 18-30. IEEE.
- Wei, L., Zhang, Z., Zhang, D., Lim, A. (2015). A variable neighborhood search for the capacitated vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*. v. 243, n.3, p. 798-814.
- Wisniewski, M. A. (2011). Uma busca tabu para o problema de roteamento de veículos capacitados com restrições de empacotamento tridimensionais. *Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre - RS
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., e Kiranoudis, C. T. (2009). A guided tabu search for the vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*. v. 195, n.3, p. 729-743.
- Zachariadis, E. E.; Tarantilis, C. D.; Kiranoudis, C. T. (2013) Integrated distribution and loading planning via a compact metaheuristic algorithm. *European Journal of Operational Research*. v. 228, p. 56–71.
- Zachariadis, E. E., Tarantilis, C. D., e Kiranoudis, C. T. (2016). The vehicle routing problem with simultaneous pick-ups and deliveries and two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*. v. 251, n.2, p. 369-386.
- Zhang, Z., Wei, L., e Lim, A. (2015). An evolutionary local search for the capacitated vehicle routing problem minimizing fuel consumption under three-dimensional loading constraints. *Transportation Research Part B: Methodological*. v. 82, p. 20-35.
- Zhu, W., Qin, H., Lim, A., e Wang, L. (2012). A two-stage tabu search algorithm with enhanced packing heuristics for the 3L-CVRP and M3L-CVRP. *Computers & Operations Research*. v. 39, n.9, p. 2178-2195.