

UMA NOVA VARIANTE DO PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO COM ESTOQUES

Diego Moah (UEPA) moah6@hotmail.com

Rodrigo Rangel Ribeiro Bezerra (UEPA) rodrigo.bezerra@uepa.br

Tamires Gabriela Silva Goveia (UEPA) tamires39.pbs@gmail.com

Resumo

Este artigo trata de duas variantes do conhecido Problema de Roteirização de Veículos com Estoque (do inglês *Inventory Routing Problem* – IRP). O problema nasce num contexto de um sistema de *Vendor Managed Inventory* (VMI) no qual o fornecedor é responsável pela gestão de estoques do cliente. Tal problema é a junção dos problemas de transporte e gestão de estoques, que correspondem aos maiores custos em uma operação logística. Destarte este trabalho apresenta um modelo matemático para uma variante do IRP que considera que o fornecedor tem clientes dentro e fora do sistema de VMI. Este caso surge quando para alguns clientes não é interessante a realização do controle de seus estoques dentro do sistema de VMI, somente o atendimento de suas demandas. Após a proposição do modelo ele foi validado em instâncias do IRP, e do Problema de Roteamento de Veículos (do inglês *Capacitated Vehicle Routing Problem* - CVRP) e instâncias próprias para a variante.

Palavras-Chaves: (Roteirização com estoques; programação linear inteira mista; Vendor Managed Inventory)

1. Introdução

O IRP é a junção do Problema de Roteirização de Veículos (*Vehicle routing problem* - VRP) e o Problema de Gestão de Estoques (*Inventory Management*- IM), tais problemas são comuns na maioria dos sistemas logísticos especialmente no *Vendor Managed Inventory* (VMI). O VMI é um sistema logístico de gestão integrada da cadeia de suprimento, no qual o fornecedor faz a gestão de estoque dos clientes, tomando para si parte dos custos de estoques. O VMI agrega algumas vantagens entre elas destacam-se que os fornecedores economizam nos custos de produção e distribuição, portanto podem coordenar carregamentos para diversos clientes, já os clientes, ganham por não utilizarem recursos para controlar e gerir estoque, criando uma relação em que todos ganham (Coelho *et al.*, 2012).

O IRP vem sendo estudado constantemente na última década em busca de soluções satisfatórias para o problema por se tratar de um problema NP-difícil as maiores instâncias do

problema ainda estão em aberto na literatura. As variações do IRP também vêm sendo extremamente abordadas, de modo que o problema exposto neste estudo surge em um contexto no qual existem clientes que fazem parte de um sistema de VMI e outros os quais não é interessante a inclusão no sistema, necessitando assim apenas atender suas demandas arcando somente com os custos de transportes. Destarte, o modelo é uma variação do IRP que considera os clientes dentro e fora do sistema de VMI, sendo um modelo híbrido atendo ao mesmo tempo os problemas de IRP e VRP.

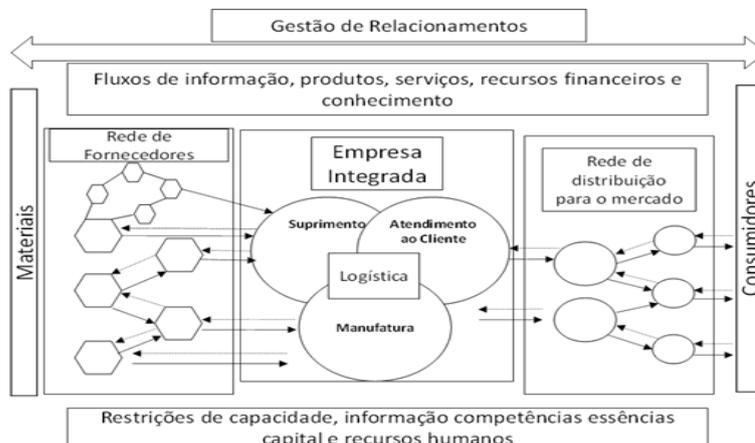
O estudo em questão se estrutura através de algumas etapas, como: Introdução, onde tem uma breve descrição do tema proposto, contendo o problema da pesquisa, as justificativas e os objetivos da mesma; Referencial Teórico, que detalha sobre os principais temas que dão embasamento para o artigo; Formulação para o Problema de Roteirização que descreve sobre o modelo matemático, bem como suas restrições e a validação deste, composto por todos os resultados obtidos através da implementação do problema; Considerações finais e Referências.

2. Referencial Teórico

2.1. Gestão da Cadeia de Suprimentos

Slack *et al.* (2018) diz que GCS é uma abordagem holística para gerenciar além das fronteiras das empresas e dos processos. Segundo Bowersox *et. al* (2013) a GCS constitui-se em uma colaboração entre empresas para impulsionar o posicionamento estratégico e para melhorar a eficiência operacional. O mesmo autor desenvolveu um *framework* (Figura 1) mostrando um exemplo de estrutura da cadeia de suprimentos integrada.

Figura 1 – Estrutura da cadeia de suprimentos integrada.



Fonte: Bowersox *et. al* (2013)

Chopra e Meindl (2016) explicam que a cadeia de suprimentos são todas as partes envolvidas direta ou indiretamente no atendimento a demanda ou pedido de um cliente, incluindo não somente o fabricante e os fornecedores, mas também transportadoras, armazéns, varejistas e até mesmo os clientes.

O Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP, 2016) indica que a GCS é o planejamento e o gerenciamento das atividades envolvidas na compra e provisionamento, e todas as atividades de gerenciamento logístico. As margens devem ser: esquerda e superior de 3 cm e direita e inferior de 2 cm. O tamanho de página deve ser A4, impreterivelmente. Por favor, verifique esse aspecto com especial cuidado.

2.2. Logística Empresarial

Segundo Ballou (2010) a logística empresarial trata das atividades de movimentação, armazenagem e fluxo dos produtos desde a aquisição da matéria-prima até o local de consumo, inclui também os fluxos de informação envolvidos no processo, com o objetivo de atingir níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável.

Bowersox *et al.* (2014), define a logística como um subconjunto mais estruturado e amplo da GCS. Pode ser entendida como o gerenciamento integrado de processos de negócios, através de um enfoque sistêmico de modo que o cliente final perceba a geração de valor ao longo da cadeia. O mesmo autor diz que a logística empresarial adquiriu a incumbência pela disponibilidade dos estoques de matérias-primas, de produtos semiacabados e dos produtos finais, no momento certo, local certo, na quantidade certa e ao menor custo possível.

2.3. Vendor Managed Inventory

O *Vendor Managed Inventory* (VMI) é uma estratégia colaborativa entre cliente e fornecedor com o objetivo de otimizar a disponibilidade dos produtos e os custos de transportes e estoques para ambos. Kazmierczak e Stefen (2010) explicam que o VMI implementa uma alteração na lógica comum usada na relação entre cliente e fornecedor no que se refere à reposição de mercadorias. Nesta nova lógica, o fornecedor apropria-se da responsabilidade pela gestão de seus estoques no cliente.

Pires (2011) define o VMI como uma prática segundo a qual os fornecedores têm a responsabilidade de gerenciar o estoque de seus clientes, arcando com os custos de estoques e transporte. Belfiore *et al.* (2006) define como uma técnica segundo a qual o fornecedor controla os níveis de estoque de seus clientes. O fornecedor passa a ser responsável pelas

decisões de quando e quanto entregar de mercadoria para cada cliente. Destarte, o cliente faz apenas um acompanhamento, mas não controla ou gerencia o processo.

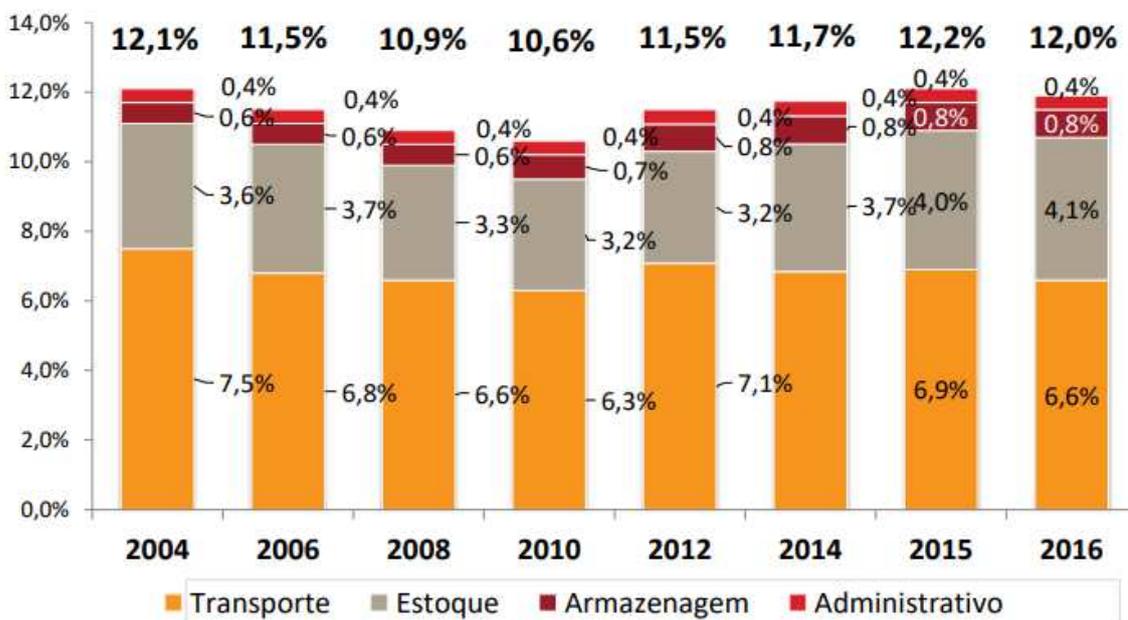
Segundo Bani-Asadi e Zanjani (2017) o VMI é um dos métodos mais eficazes para reduzir efeito chicote e a incerteza sobre a demanda. Guimarães *et al.* (2015) diz que os sistemas de VMI são reconhecidos por criarem valor simultaneamente para o fornecedor e para o cliente, criando uma situação de benefício mútuo. O fornecedor tira proveito de maior acurácia no planejamento de sua distribuição de produtos, reduzindo as rupturas e elevando a eficiência de entregas.

2.4. Custos Logísticos

Em busca de maior competitividade, as empresas buscam reduzir custos. Nesse contexto, para as organizações, os custos logísticos podem variar entre 4% e 30% do valor total das vendas (BALLOU, 2006). Mesmo sendo os custos logísticos relevantes, a ênfase dos interesses não está unicamente focada na diminuição dos custos, mas na capacidade logística para desenvolver estratégias e criar vantagens competitivas (BOWERSOX *et. al.*, 2014).

O Instituto de Logística e Supply Chain (ILOS) realizou uma pesquisa que indicou que desde 2012 os custos logísticos no Brasil vêm crescendo, chegando a 2015 com um total de 12,2% do seu Produto Interno Bruto (PIB), enquanto países desenvolvidos como os Estado Unidos gastaram 8,8% do PIB no mesmo ano. Na Figura 2, apresenta-se a divisão dos custos logísticos ao longo dos anos.

Figura 2 – Estrutura da cadeia de suprimentos integrada.



Fonte: Silos (2017)

A Figura 2 detalha sobre todos os custos integrados a cadeia de suprimentos, isto é, de transporte, de estoque, de armazenagem e administrativo, de modo que a maior parte destes estão ligados ao transporte de cargas, visto que é o setor mais deficitário do país, seguido pelo estoque, onde tem seus custos aumentando desde 2012.

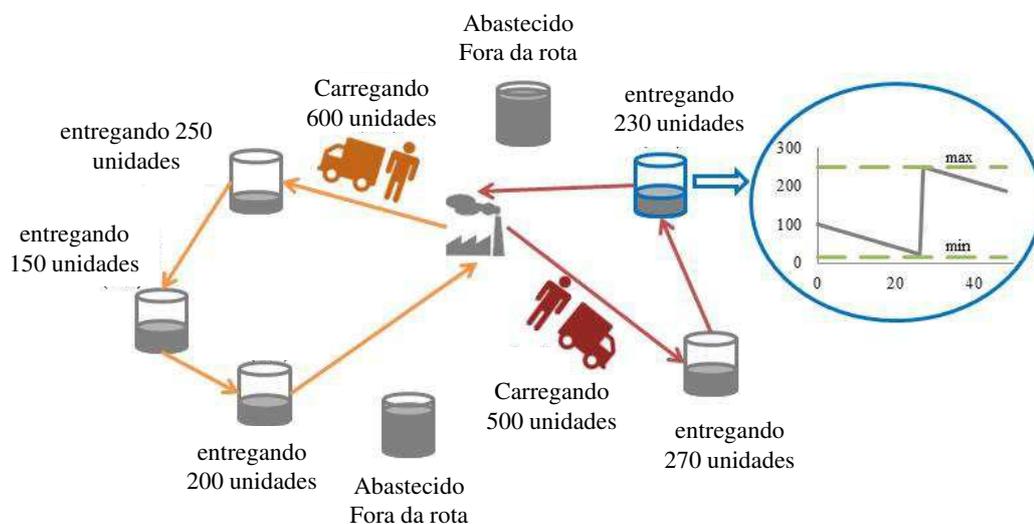
2.5. Inventory Routing Problem

O autor que introduziu o IRP foi Bell *et al.* (1983), publicado há mais 30 anos. O autor desenvolveu sua pesquisa numa empresa que atuava na distribuição de gases industriais como oxigênio nitrogênio, hidrogênio etc. O mesmo explica que a gestão de estoques era integrada com o planejamento de entregas, e nesse contexto surge o IRP, na época não existia o conceito de VMI.

Segundo Coelho *et al.* (2013) o IRP integra o problema de gestão de estoques e o problema de roteamento de veículos (VRP) e as decisões de programação de entregas. Nesse contexto, o mesmo autor diz que o IRP faz três decisões simultâneas: (1) quando realizar uma entrega a um determinado cliente, (2) quanto entregar para esse cliente quando este é visitado, e (3) como combinar as visitas aos clientes nas rotas realizadas por cada veículo, de modo a minimizar custos de distribuição e estoques.

O IRP pode ser definido como um problema que indica as decisões de reposição de estoque para os varejistas ao mesmo tempo que as rotas para os veículos para os fornecedores que realizam essas reposições (LI *et al.*, 2010). A Figura 3 contém uma breve ilustração do IRP.

Figura 3 – Ilustração do IRP.



Fonte: adaptado de Maravelias Group of University of Wisconsin – Madison (2013)

3. Formulação para o Problema de Roteirização MultiVeículos com a Opção de Estoques

3.1. Caracterização do Problema e Formulação do Modelo

De maneira geral, o objetivo da elaboração do modelo e desta pesquisa é generalizar mais o IRP, já que em muitos contextos de sistemas de VMI o fornecedor tem clientes que não fazem parte do sistema. Neste caso as roteirizações são realizadas separadamente alcançando possivelmente um resultado subótimo. Realizar a roteirização para ambos os tipos de clientes possivelmente causará impactos tanto na roteirização tanto quanto nos estoques e nível de serviço prestado aos clientes. Em outras palavras, este trabalho busca comprovar os ganhos de integrar as duas roteirizações através deste modelo híbrido. A seguir a definição formal do problema.

Dado um grafo completo e orientado $G = (V, A)$ de modo que o conjunto de vértices e o conjunto de arcos são definidos respectivamente por $V = \{0, \dots, n\}$ e $A = \{(i, j) \in V, i \neq j\}$. O conjunto de vértices $V' = V \setminus 0$ representa os clientes. Tal conjunto é dividido em outros três subconjuntos (C; E; D) sendo C para os clientes pertencentes ao sistema de VMI(IRP) e E clientes fora do sistema associados ao problema de VRP. O subconjunto D representa o centro de distribuição (CD). Os arcos $(i, j) \in A$ possuem um custo $c_{ij} > 0$. Existe um horizonte $T = \{0, \dots, p\}$ no qual os clientes i têm demanda $d_i^t, t \in T$. Existe um custo de manutenção de estoque h_c e uma capacidade de estocagem C_c para os clientes do subconjunto C (VMI). Uma frota heterogênea de k veículos, $K = \{1, \dots, k\}$, com capacidade Q_k está disponível no CD. O fornecedor deve escolher em qual período t será atendida a demanda do cliente c a uma quantidade q_i^{kt} . O fornecedor deve atender a demanda do cliente. Cada veículo k faz uma única rota em cada período T , visitando um certo número de clientes. As variáveis estão descritas abaixo. Utilizou-se a notação de Coelho *et al.* (2013).

Tabela 1 – Conjuntos e índices do Modelo.

Conjuntos	Conjuntos	Índices
Cientes IRP	C	c
Cientes VRP	E	e
CD	D	d
Nós	V	i, j
Veículos	K	k

Fonte: Autor. (2021).

Tabela 2 – Parâmetros do Modelo.

Parâmetros	Descrição
h_i	Custo de estoque por unidade no cliente i
ca_{ij}	Custo da aresta i,j
d_i^t	Demanda do cliente i no período t
L_c	Capacidade de armazenagem do cliente c
Q_k	Capacidade de transporte do veículo k

Fonte: Autor. (2021).

Tabela 3 – Variáveis do Modelo.

Variáveis	Descrição	Domínio
x_{ij}^{kt}	1 se o arco (i, j) é percorrido no período t pelo veículo k senão 0	$\{0;1\}$
y_i^{kt}	1 se o cliente i for visitado pelo veículo k no período t e 0 caso contrário	$\{0;1\}$
I_i^t	Nível de estoque do cliente i no final do período t	Z^+
q_i^{kt}	Quantidade transportada para o cliente i no período t pelo veículo k	Z^+
r^t	Decisão de compra de itens para ressuprimeto do CD no período t	Z^+
w_{ij}^{kt}	Fluxo para j a partir i no período t , com veículo k	Z^+

Fonte: Autor. (2021)

A seguir a formulação do modelo proposto:

$$\text{Min} \sum_{i \in D} \sum_{t \in T} I_d^t h_d + \sum_{i \in C} \sum_{t \in T} I_c^t h_c + \sum_{i \in C} \sum_{j \in C} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} x_{ij}^{kt} ca_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_k y_i^{kt} = 1 \quad \forall i \in E, t \in T \mid d_i^t > 0 \quad (2)$$

$$\sum_k q_i^{kt} = d_i^t \quad \forall i \in E, t \in T \mid d_i^t > 0 \quad (3)$$

$$q_i^{kt} \leq y_i^{kt} d_i^t \quad \forall i \in E, k \in K, t \in T \quad (4)$$

$$I_i^t = 0 \quad \forall i \in E, t \in T \quad (5)$$

$$I_d^t = I_d^{t-1} + r^t - \sum_j \sum_k q_j^{kt} \quad \forall i \in D, t \in T \quad (6)$$

$$I_c^t = I_c^{t-1} + \sum_k q_c^{kt} - d_c^t \quad \forall i \in C, t \in T \quad (7)$$

$$\sum_k q_c^{kt} \leq L_c - I_c^{t-1} \quad \forall i \in C, t \in T \quad (8)$$

$$\sum_i q_i^{kt} \leq Q_k \quad \forall k \in K, t \in T \quad (9)$$

$$q_c^{kt} \leq y_c^{kt} L_c \quad \forall c \in V, k \in K, t \in T \quad (10)$$

$$\sum_j x_{ij}^{kt} = y_i^{kt} \quad \forall i \in V, k \in K, t \in T \quad (11)$$

$$\sum_j x_{dj}^{kt} \leq 1 \quad \forall k \in K, t \in T, d \in D \quad (12)$$

$$\sum_k y_c^{kt} \leq 1 \quad \forall i \in C, t \in T \quad (13)$$

$$w_{ij}^{kt} - w_{ji}^{kt} + L_i x_{ij}^{kt} \leq L_j - q_i^{kt} \quad \forall i, j \in V, k \in K, t \in T \quad (14)$$

$$q_i^{kt} \leq w_{ij}^{kt} \leq L_i \quad \forall i, j \in V, k \in K, t \in T \quad (15)$$

$$q_d^{kt} = 0 \quad \forall i \in D, k \in K, t \in T \quad (16)$$

$$q_i^{kt} e I_i^t \geq 0 \quad \forall i \in V, k \in K, t \in T \quad (17)$$

$$x_{c_j}^{kt} e y_c^{kt} \in \{0,1\} \quad \forall c, j \in V, k \in K, t \in T \quad (18)$$

A função (1) tem o objetivo de minimizar os custos de estoques do CD, o custo de estoques do cliente e o custo total de transporte para todos os clientes. As equações (2) asseguram que todo o cliente do conjunto “E” que são os clientes fora do sistema de VMI sejam visitados desde que estes tenham demanda no período. As equações (3) fazem com que a quantidade transportada para os clientes do conjunto “E” seja igual a demanda do cliente. As inequações (4) associam a quantidade transportada a cada cliente do conjunto “E” a sua própria demanda, evitando que ocorra quantidade transportada sem haver demanda. As restrições (5) fazem com que as variáveis de estoques para os clientes do conjunto “E” assumam valores iguais a zero. As restrições (6) fazem o balanceamento de estoque do CD, as equações (7) realizam o balanceamento dos estoques dos clientes do conjunto “C”. As inequações (8) asseguram que a quantidade de estoque em cada cliente do conjunto “C” não exceda a capacidade do mesmo. As inequações (9) asseguram que o total de produtos transportados pelo veículo k não exceda a capacidade do veículo. As restrições (10) decidem quais clientes do conjunto “C” serão visitados no período t. As equações (11) e (12) garantem a continuidade de fluxo dos veículos. As restrições (13) certificam-se que cada cliente do conjunto “C” seja visitado por no máximo um veículo em t. As restrições (14) e (15) asseguram a não ocorrência de subciclos. As restrições (16) fazem com que não haja quantidade transportada para o próprio CD. As inequações (17) garantem a não negatividade das variáveis de decisão de estoques e

quantidade transportada. As últimas restrições (18) obrigam que as variáveis de decisão de rota e de visitar ou não os clientes sejam binários.

3.2. Validação do Modelo

Para validar o novo modelo proposto de IRP foram realizados 3 testes com o intuito de comprovar que o modelo atende simultaneamente problema de *Multiveicle Inventory Routing* e *Multiveicle Inventory Routing* (MIRP e MVRP). O primeiro teste foi realizado com duas instâncias de MIRP de Archetti *et al.* (2007) no qual o modelo chegou ao ótimo da literatura. O segundo teste foi realizado com duas instâncias de MVRP de Arenales *et al.* (2015), no qual o modelo também chegou ao ótimo da literatura. A seguir nos próximos testes (tabelas 10 e 11) realizaram-se as junções das 4 instâncias testadas para gerar mais duas instâncias com um *mix* dos dois problemas.

Para todos os testes aqui realizados, de maneira exata, utilizou-se o software AIMMS e o solver CPLEX 12.6, e um computador Intel Core i3 1,7 Ghz e 4GB de memória RAM. Abaixo nas Tabelas (4; 5; 6; 7; 8; 9) estão os detalhes das instâncias utilizadas para os testes.

Tabela 4 – Instâncias de MIRP abs1n5.

Nós	X	Y	Capacidade	E.Inicial	Demanda	C.Estoque
0	154.0	417.0	Ilimitado	510	193	0.30
1	172.0	334.0	195	130	65	0.23
2	267.0	87.0	105	70	35	0.32
3	148.0	433.0	116	58	58	0.33
4	355.0	444.0	72	48	24	0.23
5	38.0	152.0	22	11	11	0.18
Veículos	2	Capacidade	145	Períodos	3	-

Fonte: Archetti *et al.* (2007).

Tabela 5 – Instâncias de MIRP abs2n5.

Nós	X	Y	Capacidade	E.Inicial	Demanda	C.Estoque
0	309.0	334.0	Ilimitado	462	158	0.30
1	345.0	168.0	93	62	31	0.35
2	34.0	174.0	180	120	60	0.14
3	297.0	367.0	51	34	17	0.17
4	211.0	389.0	114	76	38	0.36
5	76.0	304.0	24	12	12	0.25
Veículos	2	Capacidade	119	Períodos	3	-

Fonte: Archetti *et al.* (2007).

Tabela 6 – Instâncias de MVRP dois veículos.

Nós	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

X	50	16	23	40	9	97	78	20	71	64
Y	50	32	1	65	77	71	24	26	98	55
Demanda	107	11	35	2	9	3	18	8	10	11
Veículos	2	Capacidades		54 e 53	Períodos	1				

Fonte: Arenales *et al.* (2015).

Tabela 7 – Instâncias de MVRP três veículos.

Nós	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X	50	16	23	40	9	97	78	20	71	64
Y	50	32	1	65	77	71	24	26	98	55
Demanda	107	11	35	2	9	3	18	8	10	11
Veículos	3	Capacidades		54; 42 e 11	Períodos	1				

Fonte: Arenales *et al.* (2015).

Tabela 8 – Instâncias do Modelo proposto 10 clientes.

Nós	X	Y	Capacidade	E.Inicial	Demanda	C.Estoque	
0	154.0	417.0	Ilimitado	510	193	0.3	
1	172.0	334.0	195	130	65	0.23	
2	267.0	87.0	105	70	35	0.32	
3	148.0	433.0	116	58	58	0.33	
4	355.0	444.0	72	48	24	0.23	
5	38.0	152.0	22	11	11	0.18	
6	16.0	32.0	-	-	11	-	
7	23.0	1.0	-	-	35	-	
8	40.0	65.0	-	-	2	-	
9	9.0	77.0	-	-	9	-	
10	97.0	71.0	-	-	3	-	
Veículos	2	Capacidades		145	Períodos	3	-

Fonte: Autor (2021).

Tabela 9 – Instâncias do Modelo proposto 14 clientes.

Nós	X	Y	Capacidade	E.Inicial	Demanda	C.Estoque
0	154.0	417.0	Ilimitado	510	193	0.3
1	172.0	334.0	195	130	65	0.23
2	267.0	87.0	105	70	35	0.32
3	148.0	433.0	116	58	58	0.33
4	355.0	444.0	72	48	24	0.23
5	38.0	152.0	22	11	11	0.18
6	16.0	32.0	-	-	11	-
7	23.0	1.0	-	-	35	-
8	40.0	65.0	-	-	2	-
9	9.0	77.0	-	-	9	-
10	97.0	71.0	-	-	3	-
11	78	24	-	-	18	-
12	20	26	-	-	8	-

13	71	98	-	-	10	-
14	64	55	-	-	11	-
Veículos	2	Capacidades	145	Períodos	3	-

Fonte: Autor (2021).

4. Considerações finais

Neste artigo foi proposto um nova variante do problema de roteirização com estoques (IRP). Tal modelo pode ser considerado híbrido que integra o IRP e VRP, de modo que haja o aproveitamento da logística utilizada para a satisfação de estoque dos clientes contemplados pelo VMI. Realizou-se um exaustiva pesquisa na literatura para ter certeza que o modelo é inédito.

O modelo também atende os problemas de maneira individual, haja vista que dependendo do período pode haver apenas clientes fora ou dentro do sistema de VMI. Para validar que o problema é híbrido realizou-se mais testes com instâncias apenas VRP e apenas do IRP (vide Anexo A). Para a validação do modelo proposto fez-se a aplicação do mesmo em três instâncias que atende simultaneamente os problemas de MIRP e MVRP variando.

Como proposta de estudos futuros indica-se aplicação do modelo em um caso real. Outra possível extensão desse estudo é desenvolver uma Meta-heurística para resolução de instâncias maiores e mais realistas.

REFERÊNCIAS

ARCHETTI, C.; BERTAZZI, L.; LAPORTE, G.; SPERANZA, M. G. A branchand-cut algorithm for a vendor-managed inventory-routing problem. **Transportation Sci.** v.41, n.3, p.382–391, 2007.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional: Para Cursos de Engenharia.** 2a ed. Rio de Janeiro: Campus, 2015.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial.** 5a ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial, Transportes, Administração de Materiais, Distribuição Física.** São Paulo: Atlas, 2010.

BANI-ASADI, H.; ZANJANI, H. J. Vendor managed inventory in multi level supply chain. **Decision Science Letters.** v.6 p.67–76, 2017.

BELFIORE, P. P., COSTA, O. L. V., FÁVERO, L. P. L. Problema de estoque e roteirização: revisão bibliográfica. **Produção,** v.16, n.3, p.42-454, 2006.



- BELL, W. J.; DALBERTO L. M.; FISHER M. L.; GREENFIELD A. J.; JAIKUMAR, R.; KEDIA, P.; MACK, R. G.; PRUTZMAN, P.J. Improving the distribution of industrial gases with an on-line computerized routing and scheduling optimizer. **Interfaces** v.13, n.6, p.4–23, 1983.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B.; BOWERSOX, C. J. Gestão da cadeia de suprimentos e logística. 4^a ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 2014.
- COELHO, L. C.; CORDEAU, J-F; LAPORTE, G. Thirty Years of Inventory Routing. **Transportation Science**. v.48, n.1, p.1-19, 2013.
- CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation**, 6^a ed. New York: Pearson Education, 2016.
- COELHO, L. C.; CORDEAU, J-F; LAPORTE, G. Consistency in multivehicle inventory-routing. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v.24 n.1, p. 270–287, 2012.
- COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS (CSCMP). CSCMP Supply chain management definitions and glossary. Disponível em: <<https://cscmp.org/supply-chain-management-definitions>>. Acesso em: 11 jun. 2017.
- GUIMARÃES, T., SCARPIN, C., STEINER, M. T. Políticas de distribuição com lote econômico de entrega em problemas de roteirização com estoque gerenciado pelo fornecedor e sistema logístico em três níveis. **Gestão da Produção**. v.22, n.1, p.133-148, 2015.
- SILOS (org.). **Custos Logísticos no Brasil**. Brasil: [s. n.], 2017. 1-14 p. Disponível em: https://www.ilos.com.br/DOWNLOADS/PANORAMAS/Nova_Brochura%20_CustosLog2017.pdf. Acesso em: 21 dez. 2021.
- INSTITUTO DE LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN (ILOS). Custos logísticos no Brasil. 2017. Disponível em: <https://www.ilos.com.br/DOWNLOADS/PANORAMAS/Nova_Brochura%20_CustosLog2017.pdf> Acesso em: 16 dez. 2021.
- KAZMIERCZAK, E. N.; STEFEN, D. A. VMI – Estoque gerenciado pelo fornecedor. **Revista Mundo Logística** v. 14, p.56-63, 2010.
- LI, J.; CHEN, H.; CHU, F. Performance evaluation of distribution strategies for the inventory routing problem. **European Journal Operation. Research**. v.202, n.2 p.412–419, 2010.
- MARAVELIAS GROUP UNIVERSITY OF WISCONSIN–MADISON. **Inventory Routing**. Disponível em: <https://maravelias.che.wisc.edu/?page_id=266>. Acesso em: 16 dez. 2021.
- PIRES, S. **Gestão da Cadeia de Suprimentos (Supply Chain Management): Conceitos Estratégicos, Práticas e Casos**. 2a ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.; BETTS, A. **Gerenciamento de Operações e de Processos Princípios e Práticas de Impacto Estratégico**. 3^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.



ANEXO A

Tabela 10 – Resultados do modelo proposto x Literatura K = 2 e H=3 instâncias do IRP.

Instâncias	Vc.	Média	MP	Tempo	Literatura	Gap
h3-lowcost-2-abs1n10	2	2356.37	2263.19	300.64	2263.19	0.00%
h3-lowcost-2-abs1n15	2	2431.67	2297.02	250.12	2297.02	0.00%
h3-lowcost-2-abs1n20	2	3075.85	2982.32	360.23	2917.30	2.23%
h3-lowcost-2-abs1n25	2	3409.49	3133.28	22.37	3133.28	0.00%
h3-lowcost-2-abs1n30	2	4036.11	3965.78	360.23	3803.78	4.26%

Fonte: Autor (2021).

Tabela 11 – Resultados do modelo proposto x Literatura K = 2 e H=3 instâncias de VRP.

Instâncias	Modelo Proposto	Tempo Médio	Literatura	Gap
Bre-1	1106.00	1500.44	1106.00	0.00%
Bre-2	1506.00	1220.00	1506.00	0.00%
Bre-3	1751.00	1560.33	1751.00	0.00%
Bre-4	1470.00	1122.97	1470.00	0.00%
Bre-5	951.00	1360.66	951.00	0.00%

Fonte: Autor (2021).