

## **PROBLEMA DE TRANSPORTE EM PEQUENOS NEGÓCIOS: UMA PROPOSTA A PARTIR DO VOGEL'S APPROXIMATION METHOD**

Wellington Gonçalves <sup>1</sup>

**RESUMO:** Uma das dificuldades atuais do meio urbano é o problema de transporte, o qual resulta de espaços geográficos limitados e, em alguns casos, congestionamentos altamente complexos, em que vias urbanas e estradas são plenamente concorridas em termos de utilização. Essa limitação leva a um aumento dos custos com transporte. E, por esse motivo, soluções que permitam às empresas planejar e otimizar recursos, além de possibilitar um posicionamento mais aderente ao mercado, são necessárias para a competitividade. No presente trabalho, diferentemente das soluções de problemas clássicos na literatura, a proposta apresentada pode ser adaptada a diferentes contextos e situações, permitindo uma configuração de acordo com o perfil da empresa. Além disso, como parte dessa proposta para resolução do problema de transporte, um algoritmo parametrizável elaborado no solver LINGO é exibido. As vantagens proeminentes dessa solução são técnicas e operacionais, as quais auxiliam o planejamento da otimização de recursos, de esforços e, à tomada de decisão em pequenos negócios. Esses argumentos são apontados por gestores da unidade de pesquisa, devido consumir menos tempo e, desembolso de investimentos, o que, de acordo com a opinião dos mesmos, se apresenta como uma solução mais eficiente em comparação com métodos numéricos e *know-how*.

**PALAVRAS-CHAVE:** Demandas e suprimentos. Planejamento de transporte. Otimização na rede de distribuição de carga. Método de menor custo. Solução básica viável inicial

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia e Tecnologia / Curso Engenharia de Produção, Universidade Federal do Espírito Santo - wellington.goncalves@ufes.br

## 1 INTRODUÇÃO

As cidades precisam identificar estratégias inovadoras para elevar a qualidade de vida de seus cidadãos e, concomitantemente a isso, permanecerem economicamente competitivas (NIEUWENHUIJSEN, 2016). Essa necessidade de elevar a qualidade de vida, se deve dentre outros fatores, ao fato de que, mais de 50% da população mundial vive em meio urbano (BRENNER; SCHMID, 2014; FREITAS; MARTINS, 2018).

No Brasil, a maior parte da população reside em centros urbanos (85%), sendo que em 36 localidades ainda há o agravante de mais de 500 mil habitantes estarem nas cidades (IBGE, 2010). Essa aglomeração de pessoas, associada à ausência de melhoria de desempenho no sistema de transporte, está levando a vida urbana a níveis indesejáveis de congestionamentos, poluição e insegurança (OSORIO, 2017).

Os desafios estão cada vez mais crescentes em termos de planejamento e organização do espaço urbano, sendo causados na maioria das vezes por problemas ligados à urbanização e densificação (URRY, 2012; FREITAS; MARTINS, 2018). Para Rodrigue *et al.* (2017), as cidades devem garantir uma qualidade de vida mínima a seus cidadãos e, ao mesmo tempo, manter um fluxo de circulação que seja contínuo, tanto para bens, quanto para serviços. Neste contexto, de acordo com Cruz e Fonseca (2018), a mobilidade e o planejamento de transporte desempenham um importante papel na promoção do desenvolvimento urbano sustentável de uma cidade. Em particular, um sistema eficiente de transporte e movimentação de cargas desempenha um papel significativo na competitividade de uma área urbana, representando um importante elemento para a economia local (DEBAPRIYA; HASAN, 2018).

Na opinião de Roohini e Murugan (2017), o problema de transporte se enquadra numa solução viável à movimentação de cargas em ambiente urbano e, isso se explica, devido a solução deste tipo de problema relacionar-se ao padrão ideal de distribuição de produtos envolvendo vários pontos de origem, para diversos destinos. Essa relação, segundo Lee (2018), se aplica a maioria dos pequenos negócios, os quais possuem recursos limitados e, estão inseridos num mercado cada vez mais competitivo. Este autor ainda enfatiza a necessidade de realizar planejamentos de transporte a fim de alocar racionalmente tanto recursos financeiros, quanto os esforços operacionais e, a partir disso, elevar a competitividade empresarial.

Desta forma, motivado por elaborar uma solução do problema de transporte que auxilie a otimização de recursos, esforços e, a tomada de decisão em pequenos negócios, neste trabalho, é apresentada uma proposta baseada no *Vogel's Approximation Method* (VAM). Para testagem desta proposta foram realizados experimentos numéricos com o *solver Linear Interactive and General Optimizer* - LINGO 17.0 versão trial (LINDO, 2018).

Este trabalho está estruturado da seguinte maneira: a seção 2 fornece uma visão geral da literatura sobre o cotidiano dos pequenos negócios e o problema de transporte e, também, sobre o VAM, a seção 3 aborda os procedimentos metodológicos empregados na condução da pesquisa. A seção 4 apresenta os resultados e discute segundo a literatura. Na seção 5 é apresentada as considerações finais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

As relações e operações comerciais têm evoluído nos últimos anos e, ampliado seus horizontes para o meio digital. Porém, na maioria das vezes, há entregas físicas que necessitam serem feitas. Por esse motivo, Sadeghi (2018) destaca que o problema de transporte é importante no cotidiano empresarial, por tratar do deslocamento de

mercadorias de um conjunto de pontos de suprimento, para um grupo de pontos de demanda, a fim de minimizar os custos de transporte.

## 2.1 PEQUENOS NEGÓCIOS E O PROBLEMA DE TRANSPORTE

Segundo Wiklund e Shepherd (2005), os pequenos negócios estão imersos em um ambiente mercadológico dinâmico, em que recursos são limitados e, em especial o capital, que é consideravelmente escasso. Essa limitação exige uma postura de otimização destes recursos, o que acordo com estes autores, influencia o desempenho de pequenos negócios. Para Hlatká et al. (2017), isso pode ser melhorado por meio de planejamentos e ações voltados ao aproveitamento e exploração eficiente de oportunidades.

De acordo com Álvarez e Munari (2016), processos de transporte estão envolvidos em diversas etapas dos sistemas de produção, especialmente naqueles que envolvem atividades de distribuição. Estes autores apontam ainda que, o problema de transporte é enfrentado diariamente por diversas empresas que lidam com produtos e/ou pessoas, sendo sua solução de fundamental importância para a gestão eficiente de operações das organizações.

O problema de transporte é um tipo especial de problema de programação linear em que o objetivo é minimizar o custo de distribuição de um produto de várias origens ou uma origem para vários destinos (MUNKRES, 1957). Para Cordeau e Laporte (2003), esses problemas exigem um método especial de solução, que considere a origem sendo o local de onde as mercadorias são despachadas e, o destino o local para o qual são transportadas (Figura 1). Corroborando e ampliando esta visão, Chassaing et al. (2016), complementam que o custo de transporte unitário deva considerar o deslocamento de uma unidade de mercadoria, desde uma origem até um destino.

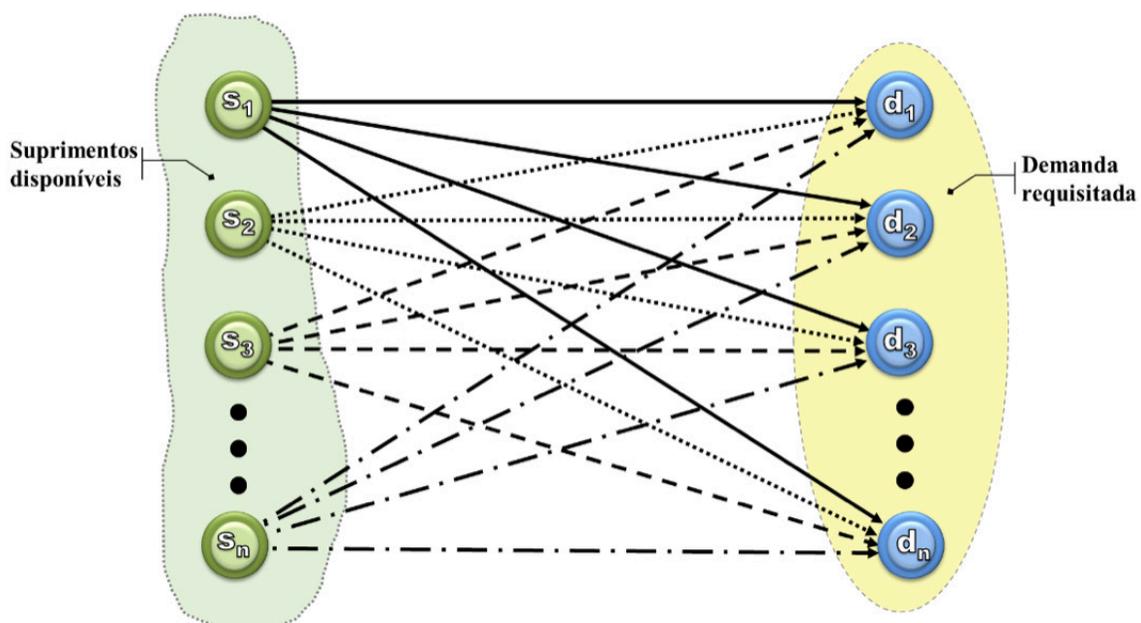


Figura 1 - Representação de rede do problema de transporte.

Fonte: Munkres (1957).

De acordo com Munkres (1957), o problema de transporte clássico é caracterizado pelo deslocamento de uma única mercadoria que possui  $M$  armazéns e,  $N$  locais de demanda. Para este autor, o conjunto de todos os armazéns é representado por  $M = \{1, \dots, m\}$  e,  $N = \{1, \dots, n\}$  como o conjunto de todos os locais a serem atendidos. Dessa forma, para atender a esse postulado, em cada armazém ( $i \in M$ ), a quantidade máxima de produto disponível é  $S_i \geq 0$  e, em cada local de demanda,  $j \in N$ , a demanda é  $d_j \geq 0$ , sendo o custo de transportar uma unidade do produto do armazém  $i$  para a localização da demanda  $j$  é  $c_{ij} \geq 0$  (MUNKRES, 1957). Assim, o problema de transporte pode ser formulado como um problema de programação linear padrão da seguinte forma:

$$\text{Min. } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (\text{Custo total de transporte}) \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq s_i \quad \forall i \in M \quad (\text{Fornecimento de recursos}),$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq d_j \quad \forall j \in N \quad (\text{Demanda para atender destinos}),$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in M, j \in N \quad (2)$$

Na prática, embora os custos unitários de transporte e as demandas sejam incertos, segundo Guo *et al.* (2015), o fornecedor normalmente pode prever a distribuição de capacidades do fornecimento de acordo com dados estatísticos da capacidade de produção e, o comportamento das condições mercadológicas e ambientais ao longo dos anos. Assim, sob o ponto de vista do fornecedor, estes autores ainda destacam que, as capacidades da oferta podem ser consideradas como variáveis aleatórias e, as soluções adotadas para atendimento à distribuição de cargas, necessitem ser parametrizadas tanto para as condições de origem, quanto de destino.

## 2.2 VOGEL'S APPROXIMATION METHOD (VAM)

O *Vogel's Approximation Method* (VAM) ou Método das Penalidades é um método heurístico formulado para obter uma solução básica viável inicial de um problema de transporte, empregando para tanto, uma versão modificada do *Dantzig's simplex algorithm* ou método Simplex (REINFELD; VOGEL, 1958). Para Dulaymi (2018), os sistemas de transporte são um componente importante da economia nacional e contribuem diretamente para a construção da sociedade e, a melhoria da qualidade de vida. Este autor destaca que o VAM por ser um método heurístico, em sua formulação é possível adequar sua resolução a diferentes cenários e circunstâncias, considerando em especial diferentes penalidades para variações de custo no transporte.

Segundo Balakrishnan (1990), o VAM envolve o cálculo de penalidade (diferença entre o custo mais baixo e o segundo custo mais baixo) para cada linha e coluna da matriz de custo de transporte e, em seguida, atribui o número máximo de unidades possíveis à célula de menor custo na linha ou coluna com a maior penalidade. De acordo com este autor essa flexibilidade de formulação

permite que o VAM ajuste às penalidades ao atendimento das restrições da matriz e, com isso, o menor custo de investimento para atender a demanda.

Na opinião de Can e Koçak (2016), o problema de transporte tem sido investigado por diversos métodos de aproximação na literatura e, a partir disso, esforços tem sido realizado para desenvolver novas técnicas, abordagens e métodos, os quais podem ser testemunhados por meio do elevado número de publicações na área. Além disso, estes autores, enfatizam que o VAM é eficaz em termos de proximidade ao resultado ideal e, por essa razão, novas técnicas estão sendo desenvolvidas a partir desse método. Isso é corroborado no trabalho de Ahmed et al. (2017), que ressaltam o VAM como a solução mais eficiente dentre os métodos existentes para obter uma solução básica viável inicial para problemas de transporte, pois sua operacionalização permite que sejam promovidas ações para a redução de custos de transporte.

A literatura ainda aponta uma familiaridade na resolução do problema de transporte entre o VAM (REINFELD; VOGEL, 1958), o *Total Opportunity-cost Method* (TOM) ou Método do Custo Total de Oportunidade (KIRCA; ŞATIR, 1990), o *Northwest Corner Method* ou Método do Canto Noroeste (TAHA, 2005) e, o *Minimum Cost Method* ou Método de Custo Mínimo (TAHA, 2005). De maneira geral, todos esses métodos utilizam em sua resolução a consideração do equilíbrio entre a disponibilidade de fornecimento e, o atendimento da demanda. Além disso, a literatura apresenta diversas soluções e propostas que ampliam a abordagem desses métodos, como a de Sharma e Sharma (2000), que propuseram um novo procedimento de solução para resolver o problema do transporte ao explorarem a estrutura do problema dual para fornecer uma nova heurística, que é executada no tempo  $O(cn^2)$ , em que ( $n$  é o número de nós na rede e,  $c$  é uma constante) para melhorar obtenção de uma solução do dual.

Segundo Mathirajan e Meenakshi (2004), a importância da determinação de soluções eficientes para problemas de transporte é confirmada por sua aplicação em diversos problemas práticos, os quais podem ser evidenciados em indústrias, operações militares, redes de suprimentos, etc. A partir dessa visão, estes autores propuseram uma abordagem que considerou a incorporação do conceito de *Total Opportunity Cost* (TOC) ou Custo Total de Oportunidade ao VAM para obter soluções eficientes. Os resultados forneceram uma solução inicial viável eficiente, em que 20% das iterações realizadas levaram à solução de custo total mínimo e, o restante deles levou a soluções que otimizaram o custo total.

Para Can e Koçak (2016), o VAM fornece uma solução mais apurada do que as obtidas pelos métodos do Método de Custo Mínimo e do canto Noroeste. Estes autores ainda ressaltam que o VAM é uma versão aprimorada desses métodos e que, por isso, proporciona uma solução básica viável inicial com um valor menor na função objetivo. O processo de operacionalização do VAM é descrito abaixo:

I. Se uma das seguintes condições existir:  $Oferta_{Total} > Demanda_{Total}$  ou  $Oferta_{Total} < Demanda_{Total}$ , é necessário equilibrar o problema de transporte, ou seja,  $Oferta_{Total} (\sum_{i=1}^m s_i) = Demanda_{Total} (\sum_{j=1}^n d_j)$ ;

II. A seguir a variável básica escolhida é, em cada matriz, a variável que corresponde ao menor custo da linha ou, da coluna associada à maior das diferenças entre os dois menores custos de cada linha e, de cada coluna;

III. Na sequência, devem ser escolhidos os custos de penalidade mais altos, observando a linha ou coluna à qual estes correspondem. Se ocorrer um empate, a escolha é aleatória;

IV. Em seguida, é realizada a alocação  $\min(s_i, d_j)$  para a célula com o menor custo de transporte unitário na linha ou coluna selecionada (Figura 2);

V. Nenhuma outra consideração é necessária para a linha ou coluna que é satisfeita em termos de atendimento. Se a linha e a coluna estiverem satisfeitas, exclua apenas uma das duas e, a linha ou coluna restante receberá fornecimento igual a zero (ou demanda);

VI. Novos custos de penalidade para a submatriz remanescente serão calculados, como indicado na Etapa 2, subsequentemente, aloque os resultados seguindo o procedimento das Etapas 3, 4 e 5. A partir disso, o processo prossegue até que todas as linhas e colunas sejam satisfeitas;

VII. Por fim, o custo total de transporte para as alocações possíveis é calculado usando a matriz de custo de transporte balanceada original.

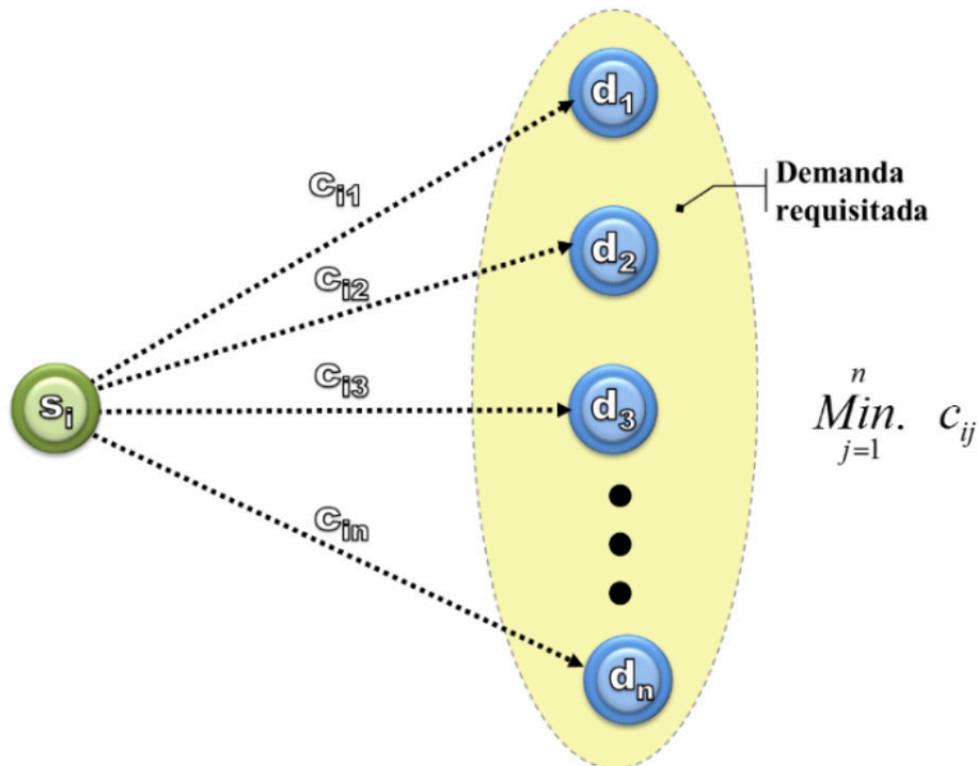


Figura 2 - Alocação de recursos do problema de transporte segundo o VAM.

Fonte: Reinfeld e Vogel (1958).

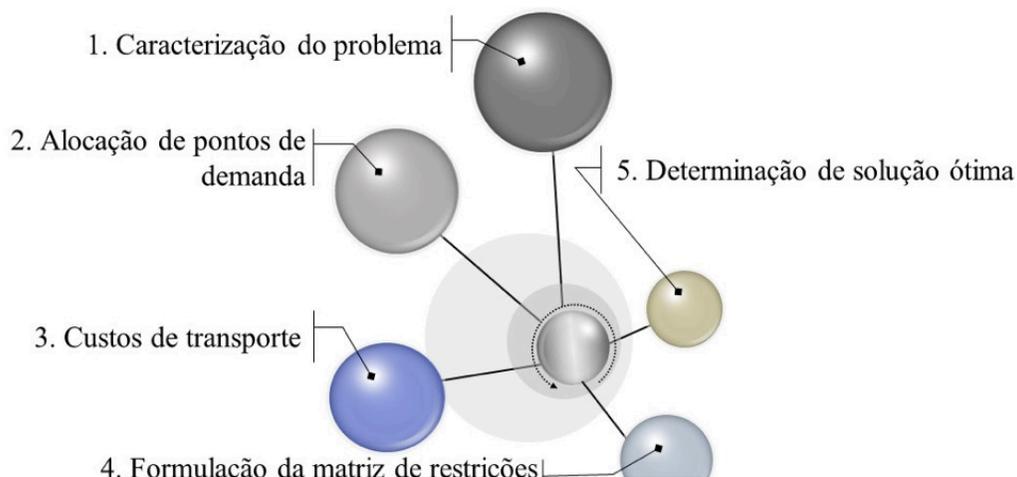
### 3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Neste trabalho, para compor a testagem da proposta de solução do problema de transporte, foi utilizada uma amostra não-probabilística, selecionada por conveniência, sendo utilizada como unidade de pesquisa uma pequena empresa do setor atacadista, situada num município da região Rio Doce - Estado do Espírito Santo (Brasil). Nesta pequena empresa o problema de transporte se forma a partir da necessidade do atendimento a Centros de Armazenagem e Distribuição com o menor custo possível, considerando as disponibilidades de atendimento de fábricas e, a demanda requerida.

Desta forma, a partir da definição da unidade de pesquisa foram realizadas três reuniões em conjunto com os gestores da pequena empresa, objetivando delinear o problema de transporte, diagnosticando e esclarecendo procedimentos, assim como, o entendimento e compreensão de cenários vivenciados e, também daqueles passíveis de ocorrência. Assim, na primeira reunião foi apresentada a abordagem metodológica e a proposta de resolução do problema de transporte.

Na segunda reunião a temática foi a apresentação da proposta para gestores e os empresários proprietários da empresa, a fim de sanar dúvidas sobre a abordagem e, também, tornar claro possíveis benefícios esperados com essa proposta. A terceira reunião objetivou a coleta de dados, momento em que os gestores da pequena empresa apresentaram as localizações dos pontos de demanda (Centros de Armazenagem e Distribuição - destinos) e, das fábricas (Origem das mercadorias para atendimento), assim como, as capacidades de atendimento, demandas de pedidos de entrega e a composição do custo de transporte.

A proposta de solução do problema de transporte deste trabalho sugere que características específicas de pequenos negócios associadas a diversos pontos de atendimento podem ser parametrizáveis e, com isso, proporcionar uma otimização de operações. Estas características são utilizadas na composição da solução com uso do *Vogel's Approximation Method* (VAM). A proposta foi elaborada por meio de 5 etapas (Figura 3), em que o VAM é empregado como principal ferramenta, por meio de um algoritmo (Apêndice) elaborado no solver LINGO 17.0 versão *trial*.



**Figura 3** - Síntese da abordagem metodológica.

Fonte: Autor.

A primeira etapa da proposta realizou a caracterização do problema de transporte, a fim de levantar um conjunto de  $m$  pontos de abastecimento, considerando o envio de uma ou mais mercadorias. Sendo considerado que um determinado ponto  $i$  pode aprovisionar no máximo  $s_i$  unidades. Na sequência, foi formado um conjunto de  $n$  pontos de demanda, em que a mercadoria é expedida, ponderando que um dado ponto de demanda ( $j$ ) necessita receber pelo menos  $d_j$  unidades de determinada mercadoria e, com isso, cada unidade disponível no ponto de abastecimento  $i$ , enviada ao ponto de demanda  $j$ , implica num custo  $c_{ij}$ . Complementando estes dados iniciais sobre o problema de transporte, a pequena empresa ainda forneceu o número de unidades movimentadas de cada ponto de abastecimento  $i$  para cada ponto de demanda  $j$ .

Após serem obtidas as localizações da demanda (origens), primeira etapa, estas foram alocadas em um mapa georreferenciado utilizando-se o *Google Maps*® (GOOGLE INC, 2018), com o objetivo de obter as distâncias entre origens e destinos (pontos de suprimentos). Contudo, devido a distorções na distância Euclidiana (distâncias métricas), foi empregado um fator de correção de 1,23, obtido por meio da média entre as distâncias dos pontos de suprimentos e os pontos de demanda a serem atendidos (GONÇALVES *et al.*, 2014), sendo desta forma concluída a segunda etapa da proposta de solução.

Na terceira etapa da proposta de solução os custos de transporte foram considerados como uma medida monetária que o demandante deve pagar para produzir serviços de movimentação, roteirização e entrega de uma carga. A partir dessa definição, estes custos foram estimados a partir de uma rota

padrão utilizada, sendo estimados por meio de um procedimento que considerou o custo para fazer uma entrega. Esse procedimento seguiu os preceitos de Rodrigue *et al.* (2017), ao considerar os custos de transporte como a composição entre custos fixos (infraestrutura) e variáveis (operacionais), os quais dependem de uma variedade de condições relacionadas à geografia, infraestrutura, barreiras administrativas, pedágio e, outras particularidades específicas que devem ser ponderadas conforme cada caso. Assim, o cálculo do Custo da rota ( $Custo_{Rota}$ ) foi realizado por meio de uma formulação híbrida da literatura (ARAÚJO *et al.*, 2014; FERRARI, 2015; RODRIGUE *et al.*, 2017), Equação 1, em que, para a unidade de pesquisa de estudo, são considerados os parâmetros ( $Custo_{Variável}$  e  $Custo_{Fixo}$ ) selecionados a partir das distâncias médias mensais dos últimos 5 anos (em km).

$$Custo_{Rota} = Distância_{Percorrida} (Custo_{Variável} + Custo_{Fixo}) + Pedágio \quad (1)$$

Em que:

$Distância_{Percorrida}$  = Distância percorrida em quilômetros (km);

$Pedágio$  = Valor atual expresso em USD.

Vale ainda ressaltar que devido à diversidade de localidades e especificidades de cada região atendida pela unidade de pesquisa, as janelas de tempo influenciam diretamente os custos totais. Com isso, tomando por base os dados históricos de um período de 5 anos e, também, informações gerenciais da unidade estudada, foram considerados dois turnos de trabalho (8 horas e 10 horas).

Na sequência, formulou-se a matriz de restrições do problema de transporte (quarta etapa). Essa formulação teve por objetivo consolidar as informações geradas nas etapas anteriores, e também, auxiliar a operacionalização do VAM. A partir dessa formulação foram parametrizadas as informações consolidadas desta matriz, sendo inseridas no algoritmo para resolução do problema de transporte. Em seguida, empregando-se o solver LINGO 17.0 versão *trial* em um computador pessoal com processador Intel® Core™ i7-7500U - 7ª geração, Windows 8.1 Professional, memória de 8GB e disco rígido de 2TB (5400 RPM), a proposta foi testada por meio da realização de experimentos numéricos, até a obtenção de uma solução básica viável inicial (quinta etapa).

## 4. RESULTADOS

A primeira etapa da proposta de solução do problema de transporte foi iniciada com um diagnóstico da situação vivenciada pela pequena empresa do setor atacadista. Primeiramente foi verificado que a pequena empresa necessita gerenciar e otimizar constantemente operações relacionadas à roteirização de entregas e custos com transporte. Essas operações ocorrem no Estado do Espírito Santo, em que os deslocamentos são a partir de 8 (oito) fábricas (origens) situadas nos municípios de Aracruz ( $s_1$ ); Cachoeiro de Itapemirim ( $s_2$ ); Cariacica ( $s_3$ ); Colatina ( $s_4$ ); Linhares ( $s_5$ ); Serra ( $s_6$ ); Vila Velha ( $s_7$ ) e Vitória ( $s_8$ ). A capacidade semanal dessas fábricas foi dimensionada a partir da obtenção de dados do planejamento de longo prazo da pequena empresa do setor atacadista (Tabela 1), sendo consideradas as produções atuais e, a capacidade futura de acordo com as previsões fornecidas.

**Tabela 1** - Capacidade produtiva das fábricas (ton.)

$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$	$s_6$	$s_7$	$s_8$
6	8	10	9	12	16	19	23

Fonte: Autor.

Concomitantemente à obtenção dos dados sobre a capacidade produtiva, também foram levantados os locais de transferências de cargas (Tabela 2), sendo verificado o atendimento a 11 (onze) Centros de Armazenagem e Distribuição - CAD (destinos) instalados nos municípios de São Mateus ( $d_1$ ); Conceição da Barra ( $d_2$ ); Jaguaré ( $d_3$ ); Domingos Martins ( $d_4$ ); Santa Teresa ( $d_5$ ); São Gabriel da Palha ( $d_6$ ); Barra de São Francisco ( $d_7$ ); Rio Bananal ( $d_8$ ); Baixo Guandu ( $d_9$ ); Alegre ( $d_{10}$ ) e Viana ( $d_{11}$ ), os quais realizam operações de recebimento, movimentação, armazenamento, separação e expedição de pedidos.

**Tabela 2 -** Demanda dos pontos de abastecimento (ton.)

$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$	$d_9$	$d_{10}$	$d_{11}$
10	5	12	9	7	4	6	13	6	15	14

Fonte: Autor.

Na sequência, cada ponto de demanda teve sua localização inserida em um mapa georreferenciado utilizando-se o *Google Maps*® (GOOGLE INC, 2018), no qual foram obtidas as distâncias que devem ser percorridas até cada um dos pontos de abastecimento. Esse mapa foi elaborado considerando a movimentação operacional atual da pequena empresa do setor atacadista, envolvendo rotas urbanas e regionais. Seguindo os preceitos de Gonçalves *et al.* (2014), com relação à rede viária foram considerados os sentidos disponíveis (mão de direção), proibições de conversões, tanto quanto, velocidades por tipo de via e localidades, além de limitações de acessos para veículos pesados. Apesar da consideração desse contexto, devido à existência de distorções, as distâncias obtidas foram corrigidas levando-se em conta um fator de correção no valor de 1,23 (Tabela 3), concluindo a segunda etapa da proposta de solução.

**Tabela 3 -** Distâncias corrigidas entre pontos

Fábricas	Centros de Armazenagem e Distribuição										
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$	$d_9$	$d_{10}$	$d_{11}$
$s_1$	204,18	218,94	154,98	163,59	68,88	183,27	241,08	126,69	217,71	350,55	115,37
$s_2$	463,71	474,70	415,74	174,66	217,71	364,08	479,70	387,45	330,87	75,52	151,29
$s_3$	307,50	323,49	259,53	58,67	72,20	264,45	323,49	231,24	234,93	246,00	17,84
$s_4$	195,57	237,39	173,43	166,05	77,86	90,16	148,83	132,84	58,79	337,02	190,65
$s_5$	131,61	146,37	82,66	227,55	132,84	177,12	246,00	55,97	146,37	414,51	179,58
$s_6$	263,22	279,21	215,25	94,59	66,54	220,17	291,51	186,96	190,65	281,67	53,75
$s_7$	300,12	314,88	250,92	67,90	103,30	255,84	314,88	222,63	226,32	242,31	27,31
$s_8$	292,74	307,50	243,54	65,68	95,57	248,46	307,50	215,25	218,94	250,92	24,85

Fonte: Autor.

Compreender os efeitos dos custos e encargos do transporte de cargas na performance de uma empresa é importante para avaliação de políticas adotadas, assim como, no auxílio de planejamentos e ações. Com esta visão, foram levantados junto à pequena empresa os itens que compõem seus custos de transporte, que segundo seus gestores, são necessários à cobertura das despesas totais para o deslocamento de mercadorias entre as fábricas até cada um dos pontos de atendimento (Tabela 4).

**Tabela 4 -** Composição do custo de transporte

Custo	Descrição do item	Valor (USD)/km
Variável	Pneu	0,025
	Hora extra	0,024
	Combustível	0,175
	Manutenção	0,008
	Lubrificantes	0,002
Fixo	Depreciação	0,021
	Custos administrativos	0,033
	IPVA e Seguro obrigatório	0,015
	Salários e outras remunerações	0,045
Pedágio	Trecho médio de circulação	1,62

Fonte: Autor.

Assim, a complementação da terceira etapa da proposta de solução do problema de transporte foi realizada a partir da utilização da Equação 1, com o emprego dos dados das Tabelas 3 e 4. Com isso, foram obtidas as estimativas de custos a serem utilizadas no algoritmo. Na sequência, por meio da compilação dessas estimativas e das informações geradas anteriormente (Tabelas 1, 2, 3 e 4) a quarta etapa formulou a matriz de restrições (Tabela 5).

**Tabela 5 -** Matriz do problema de transporte

Fábricas	Centros de Armazenagem e Distribuição											Oferta (ton.)
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$	$d_9$	$d_{10}$	$d_{11}$	
$s_1$	72,67	77,81	55,55	58,55	25,59	65,40	85,52	45,71	77,38	123,61	41,77	6
$s_2$	162,99	168,56	146,30	62,40	77,38	128,32	168,56	136,45	116,76	27,90	54,27	8
$s_3$	108,63	114,19	91,94	22,04	26,75	93,65	114,19	82,09	83,38	87,23	7,83	10
$s_4$	69,68	84,23	61,97	59,41	28,71	33,00	53,41	47,85	22,08	118,90	67,97	9
$s_5$	47,42	52,56	30,38	80,81	47,85	63,26	87,23	21,10	52,56	145,87	64,11	12
$s_6$	93,22	98,79	76,53	34,54	24,78	78,24	103,07	66,68	67,97	99,64	20,33	16
$s_7$	106,06	111,20	88,94	25,25	37,53	90,65	111,20	79,10	80,38	85,94	11,12	19
$s_8$	103,49	108,63	86,37	24,48	34,88	88,08	108,63	76,53	77,81	88,94	10,27	23
Procura (ton.)	10	5	12	8	9	7	4	6	13	15	14	103 103

Fonte: Autor.

Posteriormente, a partir da matriz do problema de transporte (Tabela 5), as informações contidas na mesma foram inseridas no algoritmo (Apêndice) para resolução desse problema (quinta etapa). Entretanto, em razão dos resultados serem determinísticos, cada experimento foi realizado três vezes, a fim de considerar ocorrência de diferenças de tempo de execução do algoritmo, devido a processos externos na máquina de teste terem um efeito prejudicial em tempos de execução muito pequenos (Osiński *et al.*, 2004). De acordo com estes autores, devido os resultados obtidos apresentarem tempos de execução que diferiram em 0,01s (Tabela 6), estes resultados são considerados satisfatórios.

**Tabela 6** - Fluxos de carga otimizados

Fábricas	Centros de Armazenagem e Distribuição											Oferta (ton.)
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$d_6$	$d_7$	$d_8$	$d_9$	$d_{10}$	$d_{11}$	
$s_1$			5,00					1,00				6
$s_2$										8,00		8
$s_3$					9,00						1,00	10
$s_4$									9,00			9
$s_5$		5,00	7,00									12
$s_6$	10,00					1,00		5,00				16
$s_7$				8,00						7,00	4,00	19
$s_8$						6,00	4,00		4,00		9,00	23
<b>Procura (ton.)</b>	10	5	12	8	9	7	4	6	13	15	14	<b>103</b> <b>103</b>

Fonte: Autor.

Assim, a solução do problema de transporte após 28 iterações do algoritmo, realizadas em cada experimento numérico, encontrou como solução básica viável inicial o custo total de USD 5.027,99. Esse resultado foi apresentado aos gestores da pequena empresa do setor atacadista que utiliza atualmente métodos numéricos e know-how para solucionar o problema de transporte. Segundo opinião dos mesmos, de maneira direta o custo total obtido por meio da proposta baseada no *Vogel's Approximation Method* (VAM), reduz em 67% o valor que a empresa investe atualmente com movimentação de transporte. Ainda é ressaltado pelos gestores que, as informações geradas permitem ganhos que podem ser implementados na gestão da pequena empresa, tais como: planejamento e programação de roteirizações, melhoria da eficiência do serviço ofertado, redução de viagens e oferta de horários flexíveis para entrega, os quais também refletem na redução de custos com transporte.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No mercado altamente competitivo de hoje, diversas empresas perseguem a oferta de produtos e serviços a um custo acessível e, que este, também seja eficaz aos olhos do cliente. Para enfrentar esse desafio e, auxiliar a tomada de decisão, a resolução do problema de transporte oferece condições para planejar e operacionalizar formas de entregar mercadorias. Por esse motivo, diferentes empresas querem entregar produtos aos clientes de maneira economicamente viável a seus anseios, desta forma, o mercado se torna competitivo.

Dentro desse contexto, a proposta apresentada neste trabalho fornece uma aplicação para encontrar uma solução básica viável inicial de problemas de transporte, a qual pode ser adaptada a diferentes conjunturas, permitindo aos pequenos negócios enfrentar o desafio de se manterem no mercado.

A eficiência dessa proposta foi testada por meio da resolução de 5 (cinco) experimentos numéricos em um algoritmo (Apêndice), que buscou minimizar os custos do problema de transporte, sendo modelado de acordo com características e especificidades de uma pequena empresa do setor atacadista, por reduzir significativamente os custos de transporte, a solução básica viável inicial encontrada representa significativa contribuição

a otimização dos recursos empregados, ressaltam os gestores da pequena empresa.

Finalmente, vale ressaltar que os experimentos numéricos realizados sugerem que a proposta utilizando o VAM, obtém soluções básicas iniciais eficientes para problemas de transporte considerados de pequeno porte. Isso, permite aos profissionais do setor e gestores contarem com uma ferramenta de planejamento, que os auxiliará na busca por maximizar o lucro em suas operações logísticas, minimizando o custo de transporte. Entretanto, vale ressaltar que essa proposta é insuficiente para problemas de transporte de porte mais elevado, que requerem diagnósticos, tratamentos e soluções específicas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Laboratório de Pesquisa Operacional, Logística e Transportes (POLT) da Universidade Federal do Espírito (UFES) / Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES) pelo apoio acadêmico, operacional e técnico na elaboração e desenvolvimento deste trabalho.

## TRANSPORT PROBLEM IN SMALL BUSINESSES: A PROPOSAL FROM THE VOGEL'S APPROXIMATION METHOD

**ABSTRACT:** One of the current difficulties of the urban environment is the transport problem, which results from limited geographical spaces and in some cases highly complex congestion, where urban roads and roads are fully utilized. This limitation leads to an increase in transport costs. For this reason, solutions that allow companies to plan and optimize resources, in addition to enabling a more adherent positioning to the market, are necessary for competitiveness. In the present work, unlike the solutions of classic problems in the literature, the presented proposal can be adapted to different contexts and situations, allowing a configuration according to the company profile. In addition, as part of this proposal to solve the transport problem, a parameterizable algorithm elaborated in the LINGO solver is displayed. The prominent advantages of this solution are technical and operational, which help plan the optimization of resources, effort and decision making in small businesses. These arguments are pointed out by managers of the research unit, due to less time consuming and investment disbursement, which, according to their opinion, presents itself as a more efficient solution compared to numerical methods and know-how.

**KEYWORDS:** Demands and supplies. Transportation planning. Optimization in the load distribution network. Least cost method. Initial basic feasible solution.

Originais recebidos em: 18/12/2018  
Aceito para publicação em: 13/10/2020

## REFERÊNCIAS

ÁLVAREZ, A.; MUNARI, P. Abordagens metaheurísticas para o problema de roteamento de veículos com janelas de tempo e múltiplos entregadores. **Gestão e Produção**, v. 23, n. 2, p. 279-293, 2016.

AHMED, M. M.; SULTANA, N.; KHAN, A. R.; UDDIN, M. S. An Innovative Approach to Obtain an Initial Basic Feasible Solution for the Transportation Problems. **Journal of Physical Sciences**, v. 22, p. 23-42, 2017.

ARAÚJO, M. P. S.; BANDEIRA, R. A. M.; CAMPOS, V. B. G. Costs and freights charged in road cargo transportation: a comparative analysis between owner operators and companies. **Journal of Transport Literature**, v. 8, n. 4, p. 187-226, 2014.

BALAKRISHNAN, N. Modified Vogel's approximation method for the unbalanced transportation problem. **Applied Mathematics Letters**, v. 3, n. 2, p. 9-11, 1990.

BRENNER, N.; SCHMID, C. The 'urban age' in question. **International journal of urban and regional research**, v. 38, n. 3, p. 731-755, 2014.

CAN, T.; KOÇAK, H. Tuncay Can's Approximation Method to Obtain Initial Basic Feasible Solution to Transport Problem. **Applied and Computational Mathematics**, v. 5, n. 2, p. 78-82, 2016.

CHASSAING, M.; FLEURY, G.; DUHAMEL, C.; LACOMME, P. Determination of robust solutions for the DARP with variations in transportation time. **IFAC - PapersOnLine**, v. 49, n. 12, p. 943-948, 2016.

CORDEAU, J. F.; LAPORTE, G. A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 37, n. 6, p. 579-594, 2003.

CRUZ, M. F.; FONSECA, F. C. P. Vectors in contradiction: urban mobility planning, land use and the dynamics of contemporary capitalism. **Cadernos Metr pole**, v. 20, n. 42, p. 553-576, 2018.

DEBAPRIYA, B.; HASAN, M. Z. Transportation Cost Optimization of an Online Business Applying Vogel's Approximation Method. **World Scientific News**, v. 96, p. 179-190, 2018.

DULAYMI, S. M. S. A. Determine the optimal solution using Vogel's Approximation Method. **Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 13, n. 12, p. 3973-3982, 2018.

FERRARI, P. Dynamic cost functions and freight transport modal split evolution. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 77, p. 115-134, 2015.

FREITAS, K. A.; MARTINS, R. S. Distribution in large urban centers: mobility disabilities generating complex logistics. **Revista de Administra o de Roraima**, v. 8, n. 1, p. 171-185, 2018.

GONÇALVES, D. N. S.; GONÇALVES, C. M.; ASSIS, T. F.; SILVA, M. A. Analysis of the Difference between the Euclidean Distance and the Actual Road Distance in Brazil. **Transportation**

**Research Procedia**, v. 3, p. 876-885, 2014.

GOOGLE INC. Company Information. **Google Maps®**. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps>. Acesso em 23 mai. 2018.

GUO, H.; WANG, X.; ZHOU, S. A transportation problem with uncertain costs and random supplies. **International Journal of e-Navigation and Maritime Economy**, v. 2, p. 1-11, 2015.

HLATKÁ, M.; BARTUŠKA, L.; LIŽBETIN, J. Application of the Vogel Approximation Method to Reduce Transport-logistics Processes. In: 18th International Scientific Conference - LOGI, 2017, Les Ulis. **Anais... Les Ulis: EDP Sciences**, 2017. p. 19.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **CENSO**. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 15 nov. 2018.

KIRCA, Ö.; ŞATIR, A. A Heuristic for Obtaining and Initial Solution for the Transportation Problem. **Journal of the Operational Research Society**, v. 41, n. 9, p. 865-871, 1990.

LINDO. LINDO Systems Incorporation. Company Information. **LINGO 17.0 version trial**. Disponível em: <http://www.lindo.com>. Acesso em 15 jun. 2018.

LEE, Y. S. Government guaranteed small business loans and regional growth. **Journal of Business Venturing**, v. 33, n. 1, p. 70-83, 2018.

MATHIRAJAN, M.; MEENAKSHI, B. Experimental analysis of some variants of Vogel's approximation method. **Asia-Pacific Journal of Operational Research**, v. 21, n. 4, p. 447-462, 2004.

MUNKRES, J. Algorithms for the assignment and transportation problems. **Journal of the society for industrial and applied mathematics**, v. 5, n. 1, p. 32-38, 1957.

NIEUWENHUIJSEN, M. J. Urban and transport planning, environmental exposures and health-new concepts, methods and tools to improve health in cities. **Environmental health**, v. 15, n. 1, p. S38, 2016.

OSIŃSKI, S.; STEFANOWSKI, J.; WEISS, D. Lingo: Search results clustering algorithm based on singular value decomposition. In: **Intelligent information processing and web mining**. Berlin: Springer, 2004.

OSORIO, A. M. L. **Modelo para integração de decisões de localização e transporte na distribuição de medicamentos**. 2017. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Centro de Ciência em Gestão e Tecnologias, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil.

REINFELD, N. V.; VOGEL, W. R. **Mathematical Programming**. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1958.

RODRIGUE, J. P.; COMTOIS, C.; SLACK, B. **The geography of transport systems**. 4th. New York: Routledge, 2017.

ROOHINI, M.; MURUGAN, P. Solving Transportation Problem Using Maximization Case in Vogel's Approximation Method. **International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology**, v. 3, n. 6, p. 16-319, 2017.

SADEGHI, J. A method for solving the transportation problem. **Journal of Statistics and Management Systems**, v. 21, n. 5, p. 817-837, 2018.

SHARMA, R. R. K.; SHARMA, K. D. A new dual based procedure for the transportation problem. **European Journal of Operational Research**, v. 122, n. 3, p. 611-624, 2000.

TAHA, H. A. **Operations research: An introduction (for VTU)**. Deli: Pearson Education Índia, 2005.

URRY, J. **Mobilities: new perspectives on transport and society**. New York: Routledge, 2012.

WIKLUND, J.; SHEPHERD, D. Entrepreneurial orientation and small business performance: a configurational approach. **Journal of business venturing**, v. 20, n. 1, p. 71-91, 2005.

## APÊNDICE - ALGORITMO DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE TRANSPORTE (LINGO)

### MODEL:

!Transport problem in small businesses: a proposal from the Vogel's  
Approximation Method

!Description of the proposed model and general parametrizations

Description of the composition of the data file

@FILE: a. Name of the file containing the data. Example: teste.ldt  
b. This file must be stored in the same folder as the  
proposed model file

Sequence of data availability:

c. origins: sx..sz Example: sl..s3~  
d. destinantions: dm..dn Example: dl..d4~  
e. cost-related data

(\*) Important note:

f. The data must be entered one by one without adding any  
signal after them  
g. The data of each variable must be separeted by a  
linecontaining "~"  
h. Whe closing typing use the "~"  
i. Other attributes can be used, as long as they follow the  
same pattern of items (1) and/or (2)  
j. Origins may be related to one or more variables  
(offser, supply, location, patios, etc.)  
k. Destinations are usually related to demand, however,  
there may be other related variables;

### SETS:

! ORIGINS / sx .. sz / : OFFER;  
ORIGINS /@FILE('Vogel\_data.ldt')/ : OFFER;

! DESTINATIONS / dm .. dn / : DEMAND;  
DESTINATIONS /@FILE('Vogel\_data.ldt')/ : DEMAND;

LINKS (ORIGINS, DESTINATIONS): COST, FLOW;

### ENDSETS

!OBJECTIVE FUNCTION;

MIN = @SUM(LINKS (I, J) : COST (I, J) \*FLOW (I, J));

!RESTRICTIONS FOR ORIGINS;

@FOR (ORIGINS (I) :  
@SUM (DESTINATIONS (J) : FLOW (I, J)) =OFFER (I));

!RESTRICTIONS FOR DESTINATIONS;

@FOR (DESTINATIONS (J) :  
@SUM (ORIGINS (I) : FLOW (I, J)) =DEMAND (J));

### DATA:

OFFER = @FILE ('Vogel\_data.ldt');  
DEMAND = @FILE ('Vogel\_data.ldt');  
COST = @FILE ('Vogel\_data.ldt');

### ENDDATA

### END