

APLICAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA PARA ALOCAÇÃO DE TRAINEES EM HOST E ONGS PARA OTIMIZAÇÃO DO TEMPO DE PERCURSO

1º Amanda Marques Lima – amandamarq9@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

2º Antonio Douglas Araújo dos Santos – dddouglas-araujo@hotmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

3º Ivna Praciano Fernandes Teixeira – ivnapraciano@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

4º José Ytalo Ferreira Lima – ytalomah@gmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC

5º Anselmo Ramalho Pitombeira Neto – Anselmo.pitombeira.com
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC

Área: 6. Pesquisa Operacional

Sub-Área: 6.1. - Programação Matemática

Resumo: ESTE ARTIGO TEM COMO OBJETIVO A APLICAÇÃO DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA PARA A ALOCAÇÃO DE TRAINEES A HOST E A ONGS DE FORMA A MINIMIZAR O TEMPO TOTAL DE DESLOCAMENTO POR MEIO DE TRANSPORTE COLETIVO. O MODELO DESENVOLVIDO LEVA EM CONTA RESTRIÇÕES ASSOCIADAS AOS PROJETOS DISPONÍVEIS NAS ONGS, A LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DESTAS E AS PREFERÊNCIAS DOS TRAINEES. FOI REALIZADO UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA SEM FINS LUCRATIVOS EM FORTALEZA, CE. IMPLEMENTOU-SE O MODELO EM UMA PLANILHA ELETRÔNICA DE FÁCIL UTILIZAÇÃO POR TOMADORES DE DECISÃO, CUJA SOLUÇÃO FOI OBTIDA POR MEIO DE UM SOLVER LINEAR COM USO DO ALGORITMO BRANCH AND BOUND. A SOLUÇÃO ÓTIMA PRODUZIU TEMPO

MÁXIMO DO HOST À ONG DE 44 MIN, ATENDENDO COM FOLGA O LIMITE DE NO MÁXIMO 2 HORAS DE DURAÇÃO DO TRAJETO ESTABELECIDO PELA EMPRESA SEM FINS LUCRATIVOS.

Palavras-chaves: PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE PESSOAS; PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA.

APPLICATION OF INTEGER LINEAR PROGRAMMING FOR THE ASSIGNMENT OF TRAINEES TO HOSTS AND NGOS FOR OPTIMIZATION OF JOURNEY TIME

Abstract: THIS ARTICLE AIMS AT THE APPLICATION OF AN INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODEL FOR THE ALLOCATION OF TRAINEES IN HOST AND NGOS IN ORDER TO MINIMIZE THE TOTAL TIME OF DISPLACEMENT BY MEANS OF COLLECTIVE TRANSPORTATION. THE DEVELOPED MODEL TAKES INTO ACCOUNT CONSTRAINTS ASSOCIATED WITH THE PROJECTS AVAILABLE IN NGOS, THEIR SPATIAL LOCATION AND TRAINEE PREFERENCES. A CASE STUDY WAS CONDUCTED AT A NON-PROFIT COMPANY IN FORTALEZA, CE. THE MODEL WAS IMPLEMENTED IN A SPREADSHEET EASY TO USE BY DECISION MAKERS, WHOSE SOLUTION WAS OBTAINED THROUGH A LINEAR SOLVER USING THE BRANCH AND BOUND ALGORITHM. THE OPTIMAL SOLUTION PRODUCED A MAXIMUM TRAVEL TIME FOR THE NGO OF 44 MINUTES, TAKING INTO ACCOUNT THE MAXIMUM LIMIT OF 2 HOURS OF TRAVEL TIME ESTABLISHED BY THE NON-PROFIT COMPANY.

Keywords: ALLOCATION OF REFUSALS; LINEAR PROGRAMMING.

1. Introdução

A Pesquisa Operacional (PO), de acordo ABEPRO (2008), é definida como a área responsável pela solução de problemas reais, envolvendo tomada de decisão, por meio de modelos matemáticos e aplicando conceitos de outras disciplinas. Nesse âmbito, dentro das técnicas usadas em PO disponíveis, existe a que utiliza programação linear inteira, a qual busca solucionar problemas de alocação de recursos. Diante disso, o presente artigo tem como objetivo alocar trainees no *host* e nas ONGs, de uma empresa sem fins lucrativos, visando o menor tempo de deslocamento, utilizando transporte coletivo, por meio da programação linear inteira.

A necessidade de otimizar esse tempo de deslocamento surgiu devido à busca da empresa em melhorar a qualidade da experiência dos intercambistas, também chamados de *trainees*, haja visto que um número considerável deles demoravam mais de 2 horas do *host* a ONG, sendo que, de acordo com os padrões de qualidade dessa organização, considerando uma empresa sem fins lucrativos, esse tempo não poderia exceder 2 horas. Isso ocorria porque a alocação, anteriormente, era feito de forma manual, apenas considerando as restrições de projetos, *host familys*, ONGs e alergias dos intercambistas, porém sem analisar o tempo do percurso de ônibus do *host* a ONG.

A metodologia utilizada para resolver esse problema foi um estudo de caso em uma empresa sem fins lucrativos, situada em Fortaleza-CE, utilizando o Excel para resolver o modelo matemático o qual representa o problema em questão.

2. Referencial Teórico

No decorrer da Segunda Guerra Mundial, iniciou-se a atividade de pesquisa operacional, onde encontrou-se a necessidade de alocar de forma eficiente os recursos que, na época, eram cada vez mais escassos, para as diversas operações militares. Com o desfecho da guerra, o sucesso da pesquisa operacional no empreendimento bélico encontrou espaço de atuação em aplicações fora do ambiente militar (Hillier e Lieberman, 2010).

A pesquisa operacional trouxe um impacto econômico significativo em organizações em todo o mundo. Dentro do contexto de aplicação da pesquisa operacional, Lachtermacher (2009, p.2) evidencia uma série de casos na qual a PO pode ser utilizada para auxiliar no processo de tomada de decisão:

- Problemas de otimização de recursos;

- Problemas de localização;
- Problemas de roteirização;
- Problemas de carteiras de investimentos;
- Problemas de alocação de pessoas;
- Problemas de previsão e planejamento;
- Problemas de alocação de verbas de mídia.

De acordo com Loesh e Hein (2009,p.1), a pesquisa operacional classifica-se como ciência do conhecimento. Segundo eles, “como ciência, estrutura processos, propondo um conjunto de alternativas e ações, fazendo a previsão e a comparação de valores, de eficiência e custos”.

Para Andrade (2015), a pesquisa operacional é um “ramo da ciência administrativa que fornece instrumentos para a análise de decisões” e ainda destaca como a pesquisa operacional, através de inúmeras técnicas, pode auxiliar na preparação e tomada de decisão.

Diante do enfoque gerencial de tomada de decisão, a pesquisa operacional tem sido vista pelos gerentes e praticantes sob dois enfoques: o clássico e o atual. No enfoque clássico, a pesquisa operacional tem sua abordagem mais tradicional, remetendo a ideia de que a ciência citada apenas fornece um conjunto de técnicas e métodos úteis para solução de problemas, buscando-se a solução ótima. Já no enfoque atual, utiliza-se o modelo para identificação do problema certo, decorrendo-se uma visão mais qualitativa, em que o esforço utilizado na modelagem do problema ocasiona uma compreensão mais profunda do próprio problema, deslocando-se, assim, a atenção central do método de solução para a formulação e modelagem (Andrade,2015).

Segundo Moreira (2017,p.3), a pesquisa operacional atua com problemas relacionados a conduzir e coordenar certas operações em uma organização, sendo aplicada em áreas tais como indústria, transportes, telecomunicações, finanças, saúde, serviços públicos, operações militares etc. Para ele, a pesquisa operacional baseia-se, majoritariamente, no método científico para tratar de seus problemas.

Dessa forma, para solução dos diversos modelos matemáticos, existem técnicas para solução destes, entre elas a programação linear, a programação linear inteira, a programação dinâmica, a otimização em redes e a programação não-linear. No entanto, a técnica mais utilizada de PO é a programação linear, que é aplicada a modelos cujas funções objetivo e restrição são lineares (TAHA, 2008).

A maior parte das técnicas de PO são determinadas por algoritmos, que fornecem

regras de cálculo fixas aplicadas repetidas vezes ao problema, sendo que a cada repetição, ou iteração, desses algoritmos, a solução fica mais próxima do ótimo. Alguns modelos matemáticos são tão complexos que se torna impossível resolvê-los pelos algoritmos de otimização disponíveis. Assim, faz-se necessário o abandono pela busca da solução ótima para procurar simplesmente uma boa solução usando heurísticas ou regras práticas (TAHA,2008).

Para (Hillier e Lieberman,2010, p.20), “a programação linear envolve o planejamento de atividades para obter um resultado ótimo, isto é, um resultado que atinga o melhor objetivo especificado (de acordo com o modelo matemático) entre todas as alternativas viáveis.”

Figueiredo e Pitombeira-Neto (2017) utilizam a programação inteira para determinar com maior precisão as escalas de trabalho dos funcionários de uma distribuidora de combustíveis, impactando diretamente na redução dos custos de mão de obra produtiva.

Diante da realidade de recursos escassos (mão-de obra, materiais, equipamentos, capital), os problemas de programação linear, em geral, estão relacionados ao uso ou alocação desses recursos visando minimizar os custos envolvidos ou maximizar o retorno de capital (COSTA In BATALHA, 1997,p.28).

3. Metodologia

A forma de abordagem realizada da pesquisa foi a do tipo quantitativa, que busca quantificar os dados e generalizar os resultados da amostra para a população-alvo.

Para Fonseca (2002, p. 20), a pesquisa quantitativa pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, utilizando a linguagem matemática para descrever fenômenos e as relações entre as variáveis.

Quanto aos procedimentos, o estudo realizado pode ser considerado como estudo de caso. Para Fonseca (2002,p.33), “um estudo de caso visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que supõe ser única em muitos aspectos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico”.

As informações do presente estudo a necessatravés de entrevistas com um membro voluntário da empresa. Nesse encontro, foram obtidas as informações sobre os trainees, *hosts* e ONGs e, também, as restrições existentes no problema, que serão abordados posteriormente.

A empresa estudada surgiu em 1948 e é o maior movimento de liderança jovem do mundo. Está presente em mais de 120 países atuando em intercâmbios, através de um modelo de desenvolvimento de liderança próprio, proporcionando oportunidades para os jovens

explorarem o seu potencial de liderança em ambientes desafiadores e multiculturais.

Através dos dados coletados, percebeu-se a necessidade em alocar os *trainees* em *hosts* e ONG's, com o objetivo de reduzir o tempo de percurso destes trainees. Por meio da entrevista, ficou claro que essa alocação era feita de forma empírica e que em alguns casos, a alocação feita não atendia as necessidades dos trainees, prejudicando-lhes de alguma forma.

Essa coleta de dados transcorreu no mês de junho de 2019 e foram obtidas e tabuladas através de um formulário online que, posteriormente, serviu de insumo para o desenvolvimento do modelo matemático. O método de pesquisa operacional aplicado para a elaboração foi a programação linear inteira.

Para a condução do estudo de PO, não existe um número de fases fixo, sendo essas fases, variáveis com o grau de complexidade do problema. De acordo com Hillier e Lieberman (2010,p.7), esse estudo está intrinsecamente ligado a trabalho de equipe. Para ele, entretanto, podem ser definidas fases a seguir:

1. Definição do problema;
2. Construção do modelo;
3. Solução do modelo;
4. Validação do modelo;
5. Implementação do modelo.

Ressalta-se que para a resolução do modelo matemático, foi utilizado o Open Solver, que é um otimizador linear, inteiro e não linear de código aberto para o Microsoft Excel.

4. Estudo de caso

4.1 Coleta de dados

Os primeiros dados coletados foram sobre os trainees que serão alocados nos *hosts* e nas ONGs. As informações coletadas foram: sexo, projeto almejado e se possui alergia a animais. Os dados dos quatorze trainees estão demonstrados na Tabela 1.

TABELA 1 – Dados sobre os trainees

ID	Sexo	Projeto	Alergia
T01	F	Driblando	Animais
T02	F	Driblando	Animais
T03	F	SMART	Animais
T04	F	SMART	Animais

T05	M	SMART	Não
T06	F	SMART	Não
T07	F	SMART	Não
T08	M	Driblando	Não
T09	M	Planet Heroes	Não
T10	M	Planet Heroes	Não
T11	F	Planet Heroes	Não
T12	F	X4CHANGE	Não
T13	F	X4CHANGE	Não
T14	F	X4CHANGE	Não

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Percebe-se que três trainees serão alocados no projeto driblando, cinco no projeto SMART e três trainees estarão no projeto Planet Heroes e no projeto X4CHANGE. É importante ressaltar que os quatro primeiros trainees são alérgicos a animais, logo não poderão ser alocados em hosts com animais.

Além disso, foram levantados dados sobre as ONGs disponíveis para a alocação e os respectivos projetos presentes como mostra a Tabela 2.

TABELA 2 – Dados sobre as ONGs

ID	Projetos
ONG1	DRIBLANDO
ONG2	DRIBLANDO
ONG3	DRIBLANDO
ONG4	SMART
ONG5	SMART
ONG6	SMART
ONG7	SMART
ONG8	X4CHANGE e PLANET HEROES
ONG9	X4CHANGE e PLANET HEROES
ONG10	X4CHANGE e PLANET HEROES

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Como demonstrado, o projeto driblando está presente nas três primeiras ONGs, enquanto as ONGs 4, 5, 6 e 7 possuem o projeto SMART. As ONGs restantes dispõem dos projetos X4CHANGE e Planet Heroes.

Posteriormente, coletaram-se os dados referentes aos hosts, nos quais os trainees ficarão hospedados. As informações quanto à presença de animais nos hosts estão representadas na Tabela 3.

TABELA 3 – Dados sobre os Hosts

ID	Você possui animais de estimação?
Host01	Sim
Host02	Sim
Host03	Sim
Host04	Sim
Host05	Sim
Host06	Não
Host07	Não
Host08	Não
Host09	Não
Host10	Não
Host11	Não
Host12	Não
Host13	Não
Host14	Não

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Por fim, foi utilizado o serviço Google Maps para calcular o tempo do trajeto de cada host a uma ONG através do transporte público. É válido salientar que para os cálculos foram considerados o mesmo dia e horário. A tabela 4 descreve os tempos dos trajetos.

TABELA 4 – Tempo de cada trajeto em minutos

	Tempo do trajeto (min)													
	Host1	Host2	Host3	Host4	Host5	Host6	Host7	Host8	Host9	Host10	Host11	Host12	Host13	Host14
ONG1	30	43	93	80	102	67	107	68	95	79	61	89	73	74
ONG2	18	48	79	88	99	64	111	70	105	88	54	95	61	86
ONG3	65	60	49	35	20	42	34	38	48	32	50	32	35	20
ONG4	32	13	69	49	68	49	80	40	70	54	53	59	71	51
ONG5	54	44	76	63	48	78	67	57	39	47	64	41	63	44

ONG6	64	58	27	40	11	34	48	46	54	40	42	33	27	27
ONG7	77	55	62	44	33	65	36	36	58	30	57	41	48	17
ONG8	35	53	45	53	68	25	79	57	75	79	44	65	33	79
ONG9	74	49	52	34	22	44	39	28	29	23	53	13	39	18
ONG10	77	67	39	29	24	42	71	60	56	54	50	49	44	47

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Saliena-se que a capacidade máxima de trainees nas ONGs é igual a 3.

4.2 Modelo de programação linear inteira

As variáveis de decisão são binárias e foram definidas a partir de três índices. Essas variáveis estão descritas abaixo.

$x_{ijk} = 1$ se o trainee k for alocado no host i e na ONG j

$x_{ijk} = 0$ caso contrário

Em que $i = 1, 2, \dots, n$, $k = 1, 2, \dots, t$ e $j = 1, 2, \dots, q$.

Nesse problema, têm-se mais quatro parâmetros, os quais são:

a = número de hosts com animais

b = número de trainees com alergia a animais

S_j = capacidade de trainees nos projetos

D_l = demanda dos trainees por projeto

Para indicar o projeto, foi utilizado o índice abaixo.

$l = 1, 2, \dots, p$, p é o número de projetos.

Visando a minimização do tempo do trajeto total utilizado pelos trainees para se locomoverem dos hosts às ONGs, a função objetivo é dada pela fórmula seguir:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^t C_{ijk} x_{ijk} \quad (1)$$

A primeira restrição do problema é referente ao número de trainees alocados para cada host, o qual deve ser apenas um. A equação 2 decreve essa restrição.

Na equação 3, a restrição representa que um trainee só poderá ser alocado uma única vez.

$$\sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^t x_{ijk} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q x_{ijk} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, t \quad (3)$$

A inequação abaixo descreve que cada ONG poderá receber no máximo a capacidade indicada.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^t x_{ijk} \leq S_j, \quad j = 1, 2, \dots, q \quad (4)$$

Em relação ao número de trainees por projeto, a equação 5 representa a restrição de que cada projeto só poderá receber o número de trainees que solicitaram inicialmente participar do mesmo.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^t x_{ijkl} = D_l, \quad l = 1, 2, \dots, p \quad (5)$$

A quinta restrição refere-se aos trainees que são alérgicos a animais. Esses trainees não podem ser alocados em hosts com animais. Por último, tem-se a restrição de não negatividade.

$$\sum_{j=1}^q x_{ijk} = 0, \quad i=1, \dots, a \quad k=1, \dots, b \quad (6)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \quad (7)$$

4.3 Resultados

O modelo matemático formado pela função objetivo e pelas restrições descritas no último tópico foi implantado no *OpenSolver*. A tabela 5 mostra as alocações dos trainees nos hosts e nas ONGs que possibilitam a otimização do tempo do trajeto total utilizado pelos trainees.

TABELA 5 – Valores ótimos obtidos

VALORES ÓTIMOS			
Trainee	ONG	Host	Tempo (min)
T01	ONG3	Host14	20
T02	ONG3	Host7	34
T03	ONG6	Host13	27
T04	ONG7	Host8	36

T05	ONG6	Host3	27
T06	ONG4	Host2	13
T07	ONG6	Host5	11
T08	ONG2	Host1	18
T09	ONG9	Host12	13
T10	ONG8	Host6	25
T11	ONG9	Host9	29
T12	ONG8	Host11	44
T13	ONG10	Host4	29
T14	ONG9	Host10	23

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

A partir desses resultados, a função objetiva encontrada foi de 349 minutos, uma média de duração do percurso de 25 min dos 14 trainees. Vale salientar ainda que o tempo máximo do host a ONG foi de 44 min, parâmetro que atende com folga os limites de duração do trajeto, segundo os padrões de qualidade da empresa sem fins lucrativos, que é de no máximo 2h.

Tais resultados significaram uma considerável melhoraria, haja visto que antes desse estudo, a média duração do percurso era próxima a 60 minutos. Isso ocorria porque todo o processo de alocação era de forma manual, por tentativa e erro, sem utilizar nenhum programa de otimização e sem analisar os tempos do percurso de ônibus do host a ONG, conseqüentemente, devido o espaço amostral de soluções possíveis ser muito grande, é bastante difícil encontrar a solução ótima por tentativa e erro.

5. Conclusão

Após a análise e discussão dos resultados, percebe-se que o objetivo do artigo de utilizar Programação Linear para otimizar a solução do problema real de alocar todos os trainees no host e nas ONGs com o menor tempo foi solucionado, resultando em uma função objetivo de 349 min, uma média de 25 min de duração do percurso para cada voluntário. Vale lembrar ainda que o maior tempo do percurso encontrado foi de 44 min, tempo que ainda, com folga, está dentro dos parâmetros de qualidade da empresa.

Nesse contexto, como a situação retratada se relaciona com o transporte coletivo de uma capital, os tempos de percursos médio podem sofrer alterações de acordo com os horários e as condições do trânsito. Ademais, mesmo com eventuais problemas logísticos dos ônibus, existe uma margem de segurança de 76 min, que o tempo máximo do percurso do trainees

com pior tempo chegar na ONG e ainda obedecer os padrões de qualidade da organização em questão.

Por fim, pode-se constatar que utilizar a Pesquisa Operacional, por meio da Programação Linear e uso do Excel em um problema de alocação de recursos contribui significativamente para aumentar a qualidade dos serviços prestados pela organização em estudo. Isso porque a partir de desse modelo foi possível melhorar a eficiência e eficácia do setor logístico, reduzindo a dificuldade do operador no processo de alocação e otimizando o tempo do percurso. Dessa forma, este artigo pode ser utilizado como referência em problemas nesse mesmo viés, colaborando para área acadêmica e o segundo e terceiro setor.

Esse estudo pode ser melhorado ao se adicionar mais restrições na alocação do intercambistas ao hosts, uma vez que muitos hosts tem preferência em relação ao sexo e ao idioma falado pelos voluntários. Dessa forma, seria necessário modificar as variáveis de decisão, resultando em uma matriz muito maior, podendo ser necessário utilizar outro software como o CPLEX para conseguir rodar o programa.

Referências

- ANDRADE, E. L. *Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões*. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- COSTA, M. A. B. *Pesquisa operacional aplicada à Agroindústria*. In BATALHA, M.O (Coord.). *Gestão Agroindustrial*. Volume 2. São Paulo: Atlas, 1997.
- FONSECA, J. J. S. *Metodologia da pesquisa científica*. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.
- HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. *Introdução à pesquisa operacional*. 8.ed. McGraw-Hill, 2010
- LACHTERMACHER, G. *Pesquisa Operacional na tomada de decisões*. 4. ed. São Paulo. Prentice Hall, 2009.
- LEIGUS, Alisson ; FENERICH, Amanda; MORAIS, Márcia. *Aplicações da Pesquisa Operacional. III ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL*, Paraná, p. 1-8, 6 nov. 2009. Disponível em: http://www.fecilcam.br/anais/iii_eepa/pdf/3_02.pdf. Acesso em: 22 jun. 2019.
- LOESH, C.; HEIN, N. *Pesquisa Operacional: fundamentos e modelos*. São Paulo: Saraiva, 2009.
- MOREIRA, D *Pesquisa operacional: curso introdutório / Daniel Augusto Moreira*. – 2. ed. rev. e atualiz. – São Paulo : Cengage Learning, 2017.
- TAHA, H. A. *Pesquisa operacional: uma visão geral*. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- AIESEC. *Desenvolvendo liderança jovem desde 1948* Disponível em: <https://aiesec.org.br/>. Acesso em: 14 jul. 2019.
- FIGUEIREDO, C. C., PITOMBEIRA-NETO, A. R. Desenvolvimento de um modelo de programação linear inteira para a determinação de escalas de trabalho em uma empresa distribuidora de combustíveis. Anais do XXIV Simpósio de Engenharia de Produção. Bauru/SP, 2017.