



## CAIXEIRO VIAJANTE – UMA ABORDAGEM PRÁTICA NA SELEÇÃO DE ROTAS DE VISITAÇÃO TURÍSTICA

Alessandra Berenguer de Moraes (Universidade Federal da Paraíba) - alessandra.moraes@academico.com.br  
Eric Dantas Oliveira do Nascimento (Universidade Federal da Paraíba) - ericdantasoliveira12@gmail.com  
Fabio Bezerra de Oliveira Filho (Universidade Federal da Paraíba) – fabio.filhoo@hotmail.com

### Resumo

A utilização dos modelos matemáticos para a tomada de decisão tomou uma grande proporção nas últimas décadas, com inúmeras aplicações e nos mais diversificados ambientes empresariais. O presente artigo visa apresentar uma aplicação prática de um desses modelos matemáticos, mais conhecido como o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), amplamente estudado pela Pesquisa Operacional e Matemática Computacional. O problema do caixeiro viajante é um problema clássico de otimização combinatória, e atualmente um dos problemas mais estudados e aplicado para determinação de soluções para problemas reais nas mais diversas áreas do conhecimento. De modo que diferentes modelos matemáticos vêm sendo aprimorados computacionalmente para eliminação de possíveis sub-rotas, com o intuito de se resolver um conjunto cada vez maior de pontos. Aqui o PCV foi utilizado para determinar uma sequência de pontos turísticos a serem visitados no Qatar, país-sede da copa do mundo de 2022, com o objetivo de minimizar o percurso total a ser percorrido durante a visita, e consequentemente determinar um menor custo operacional. Este estudo se justifica pelo fato das empresas que atuam no segmento de turismo não possuírem a princípio fortes referências acadêmicas na aplicação deste conteúdo. A partir do desenvolvimento do modelo específico aqui tratado, percebeu-se que este apresentou resultados concretos, e por ser de fácil interpretação e compreensão dos resultados obtidos, seu uso pode ser facilmente replicado em outras simulações pelos agentes de turismo.

**Palavras-chave:** Pesquisa Operacional; Caixeiro Viajante; Otimização de Rotas; Eliminação de Sub-rotas; Turismo.

### 1. Introdução

A Pesquisa Operacional (PO) é uma ciência voltada para resolução de problemas reais do dia a dia, que envolvam situações de tomada de decisão, que se utiliza de modelos matemáticos geralmente apoiado por ferramentas computacionais, onde se aplicam conceito



da matemática, de economia e de outras ciências para a sua concepção, estes modelos por sua vez buscam a otimização da solução para estes problemas. Para isto procura introduzir elementos de objetividade e racionalidade para a tomada de decisão, sem se esquecer dos elementos subjetivos e de enquadramento organizacional que caracterizam os problemas.

Na atual conjuntura da globalização dos negócios, as empresas precisam cada vez mais, adotar estratégias que melhorem suas tomadas de decisões e a Pesquisa Operacional dispõe de inúmeras técnicas associadas a uma gama variada de problemas de áreas distintas e que proporcionam as organizações obterem as soluções otimizadas aos problemas propostos. Para o estudo de caso em questão, foi sugerido definir uma rota otimizada que visitasse 10 pontos turísticos no Qatar, país que sediou a copa do mundo de 2022, utilizando-se do modelo clássico da Pesquisa Operacional mais conhecido como o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), que apresentou uma primeira formulação matemática em 1932, por Menger (1932), e desde então tem sido amplamente estudado matematicamente e computacionalmente.

A origem do problema está ligada a um caixeiro viajante que pretende viajar por um conjunto de cidades passando por cada uma delas única vez e depois voltar à cidade inicial, percorrendo a menor distância possível. Neste estudo foi proposto sua aplicação para decidir um sequenciamento de visitação sem repetição a alguns dos principais pontos turísticos do País. Portanto, a fim de atingir o objetivo geral da análise acima, foram cruciais os seguintes objetivos específicos: o levantamento dos 10 (dez) principais pontos turísticos, com a finalidade de determinar um sequenciamento que apresente uma menor distância a ser percorrida, e conseqüentemente um menor custo de transporte.

Ademais, foi analisada uma outra proposta para determinar o menor tempo de execução para realizar a visitação; a metodologia do Caixeiro Viajante permite definir uma ordem em que essas visitações devem ocorrer de forma que não ocorra repetição de pontos turísticos visitados e de modo a otimizar a função objetivo, ou seja, determina a solução ótima para o problema proposto. O artigo, então, foi dividido em cinco seções: introdução, fundamentação teórica, metodologia, resultados e discussões e considerações finais.

## **2. Fundamentação Teórica**

O Problema do Caixeiro Viajante – PCV, consiste em determinar um ciclo hamiltoniano de custo mínimo em um grafo ponderado, direcionado ou não, sendo este um problema do tipo NP-Difícil. De acordo com (De Azevedo, 2021) Inicialmente o problema é modelado como um “problema de designação”, porém a necessidade de mais restrições fica

evidente quando há formação de sub-rotas, impossibilitando a resposta de ser aceita como parte da solução ótima, apesar de todas as restrições impostas na definição do PCV serem respeitadas, então utilizamos de recorrência para encontrarmos a solução.

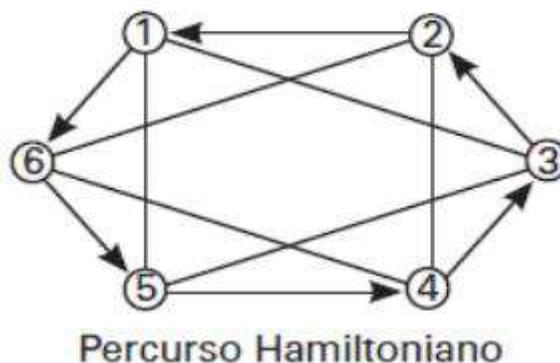
Diversas propostas de formulações matemáticas para eliminação de sub-rotas, têm sido desenvolvidas desde muito tempo podendo destacar Dantzig, Fulkerson e Johnson (1954) e para Miller, Tucker e Zemlin (1960), que são consideradas clássicas para o Problema do Caixeiro Viajante. Diversos problemas de decisão de ordem prática podem ser classificados como problemas de fluxo de rede. Esses têm uma característica em comum – podem ser descritos ou representados por um grafo (RAGSDALE, 2018).

A teoria dos grafos proporciona ferramenta simples, acessível e poderosa para a construção de modelos e resolução de problemas relacionados com arranjos de objetos discretos. Os Modelos de rede facilitam a visualização das relações entre as variáveis envolvidas no problema e sua solução, melhorando o entendimento do problema e seus possíveis resultados (LACHTERMACHER, 2016).

Os modelos de redes são estudados como um assunto à parte da programação linear, devido à existência de algoritmos mais eficientes para resolver problemas dessa natureza (COLIN, 2007). Como citado em (CARVALHO, 2022) há várias aplicações de diagramas de redes em problemas do mundo real como: Problemas de transporte, escala de produção, rede de distribuição, redes neurais, problemas do menor caminho, fluxo máximo e caminho crítico entre outros.

Uma rede pode ser definida como um conjunto ordenado de nós (ou vértices, ou pontos, ou pontos de junção) e arcos (ou ramos, ou conexões, ou ligações) interligando esses nós.

**Figura 1:** Modelo de Rede



Fonte: Goldberg e Luna (2005)

De acordo com Miller – Tucker – Zemlin (1960) o problema do Caixeiro Viajante segue a seguinte formulação matemática:

**Figura 2:** Formulação matemática do Caixeiro Viajante

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n c_{ij} x_{ij}, \\ \text{sujeito a} \quad & \sum_{i=1, i \neq j}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n, \\ & \sum_{j=1, j \neq i}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\ & u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1, \quad 2 \leq i \neq j \leq n, \\ & x_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j, \\ & u_i \in \mathbb{R}^+ \quad i = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

Fonte: Miller – Tucker – Zemlin (1960)

Conforme (LACHTERMACHER, 2016) a área que estuda a otimização de recursos sujeita a um conjunto de restrições é denominada Programação Matemática. No modelo de Programação Matemática existe uma função matemática que descreve um objetivo a ser alcançado, que pode ser de maximização ou de minimização, e um conjunto de variáveis de decisão, e as relações de trade-off entre as variáveis de decisão e as restrições que circundam o problema, uma vez que estas possam ser formalizadas como equações e/ou inequações.

Utilizamos desta formulação e do software Excel para determinar por recorrência a solução do modelo proposto.

### 3. Metodologia

Nesta seção, os métodos e as etapas realizadas no estudo serão descritas, considerando que como parte básica da pesquisa, esses procedimentos são relevantes para responder às questões levantadas a fim de atingir o objetivo proposto (AGRESTI, 2012). Segundo a classificação de pesquisa de Gil (2017), quanto aos objetivos e abordagem metodológica, a pesquisa é exploratória e quantitativa e o seu o sumário metodológico com as respectivas etapas serão apresentadas a seguir.

A primeira etapa da metodologia definiu os pontos turísticos de visitação, conforme as imagens apresentadas nas figuras:

**Figura 3** - Al Nahada Doha Hotel,



Fonte: Google imagens (2022)

**Figura 4** - Museu da Arte Islâmica



Fonte: Google imagens (2022)

**Figura 5** - Katara Cultural Village



Fonte: Google imagens (2022)

**Figura 6 - Corniche Doha**



Fonte: Google imagens (2022)

**Figura 7 - The Pearl**



Fonte: Google imagens (2022)

**Figura 8 – Banana Island**



Fonte: Google imagens (2022)

**Figura 9 – Mia Park**



Fonte: Google imagens (2022)

**Figura 10** – Museu nacional do Catar



Fonte: Google imagens (2022)

**Figura 11** – National library



Fonte: Google imagens (2022)

**Figura 12** - Museum of illusions



Fonte: Google imagens (2022)

Na segunda etapa, realizou-se o levantamento das distâncias (tabela 01) entre os pontos turísticos, utilizando o google maps, considerando como ponto de partida o hotel Al Nahada Doha, e utilizando deliberadamente uma grande valor na diagonal da tabela que representa as distâncias, evitando assim ligações entre os próprios pontos, para que não tenhamos a possibilidade de retorno ao mesmo ponto turístico criando sub-rotas. De modo

análogo, foi construída uma segunda tabela, agora contendo os valores dos respectivos tempos utilizados para realizar esses deslocamentos (tabela 02) entre os pontos turísticos, e supondo que o turista queira conhecê-los no menor tempo possível e aproveitar as suas férias para assistir a copa do mundo de 2022.

	Al Najada Doha Hotel	Museu da Arte Islâmica	Katara Cultural Village	Corniche	The Pearl	Banana Island	MIA Park	Museu Nacional do Catar	National library	Museum of illusions
Al Najada Doha Hotel	1000	1,5	13,1	9,3	17,6	11,2	3,4	3,3	14,5	11,1
Museu da Arte Islâmica	1,5	1000	10,7	4,6	15	15,6	0,6	1,8	12,6	6,1
Katara Cultural Village	15,3	10,7	1000	6,6	5,3	41,6	26,5	26,4	15,3	5,1
Corniche	11,4	4,6	7,2	1000	11,6	21	13,2	13,1	10,8	2
The Pearl	19,6	15	6,8	11	1000	46	31	30,7	19,7	9,5
Banana Island	10,4	15,6	21,9	17,9	26,2	1000	9,1	9	30,5	18,4
MIA Park	3,9	0,6	15,4	11,4	19,8	9,8	1000	1,1	17,1	11,9
Museu Nacional do Catar	3,3	1,8	14,8	10,8	19,2	9,2	2	1000	16,3	11,3
National library	17,7	12,6	15,9	11,8	18,5	34,2	19,1	19	1000	12,4
Museum of illusions	12,6	6,1	5,8	1,6	10,2	21,7	13,9	13,8	13,8	1000

Tabela 01 – Distâncias de deslocamento (km)

Fonte: Elaborado pelos autores, com base no Google maps (2022).

Tabela 02 – Tempos de deslocamento (min)

	Al Najada Doha Hotel	Museu da Arte Islâmica	Katara Cultural Village	Corniche	The Pearl	Banana Island	MIA Park	Museu Nacional do Catar	National library	Museum of illusions
Al Najada Doha Hotel	1000	20	23	21	28	23	10	9	29	20
Museu da Arte Islâmica	20	1000	132	56	180	190	7	22	160	74
Katara Cultural Village	31	132	1000	11	10	43	44	42	22	8
Corniche	25	56	14	1000	16	38	31	29	16	6
The Pearl	33	180	11	14	1000	44	45	42	24	11
Banana Island	25	190	40	39	46	1000	23	22	35	37
MIA Park	9	7	26	25	31	13	1000	2	28	22
Museu Nacional do Catar	9	22	24	23	29	13	6	1000	28	22
National library	28	160	20	17	25	34	32	31	1000	18
Museum of illusions	25	74	8	5	13	38	31	30	31	1000

Fonte: Elaborado pelos autores, com base no Google maps (2022).

Vale ressaltar que, os dados de distância e tempo referentes ao Museu da Arte Islâmica estão sendo considerados caminhando, já que este percurso tem difícil acesso através de veículos.

Em prosseguimento, na terceira etapa, foi aplicando o algoritmo do Caixeiro Viajante por recorrência até encontrarmos a solução ótima com a menor distância percorrida em conjunto com o menor tempo gasto. Utilizando o Solver do software Excel, conforme a imagem abaixo para realizar as iterações até que se determine à solução ótima.

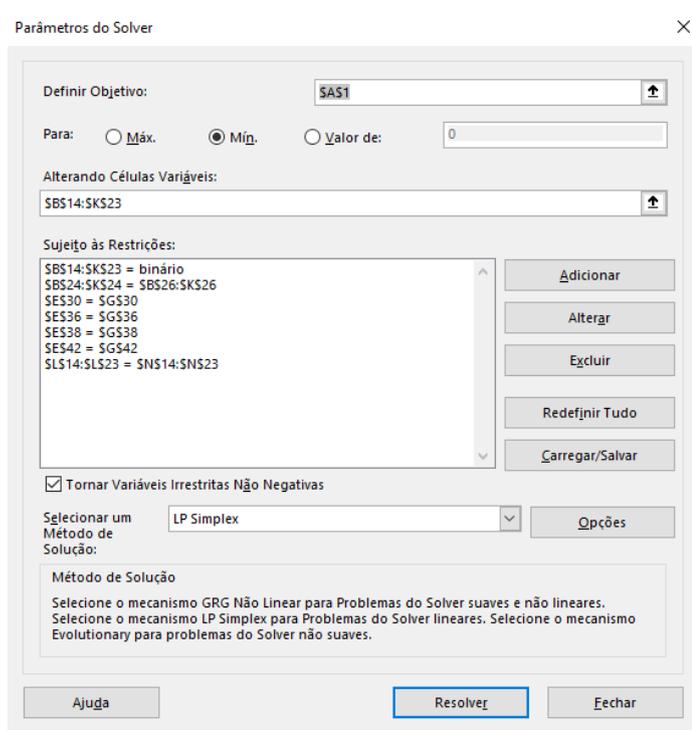


Figura 13 – implementação do modelo PCV no Solver

Fonte: Print do Software Excel (2022)

#### 4. Resultados e Discussões

Para resolução do problema, foram realizados os procedimentos a seguir. Inicialmente foram utilizados os dados da Tabela-01 para por meio do software identificar a menor distância possível a ser percorrida, de modo que foi necessário adicionar uma tabela em branco com as mesmas dimensões, variáveis de decisão, para indicar através do Solver qual caminho que deve ser percorrido, as variáveis devem ser binárias ( 0 ou 1), onde o 0 indica que aquele caminho não deve ser percorrido e o 1 indica que o caminho pertence a rota.

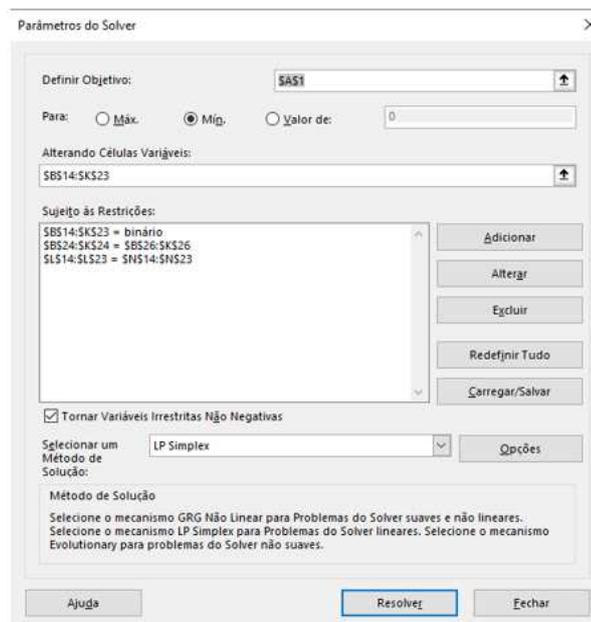
Nesse sentido, o somatório de cada linha deve ser igual a 1, assim como também as colunas, o que nos faz ter a garantia de que o turista não passará pelo mesmo local mais de uma vez.

**Figura 14** – Tabela utilizada para indicação do caminho

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1											0*	1
2											0*	1
3											0*	1
4											0*	1
5											0*	1
6											0*	1
7											0*	1
8											0*	1
9											0*	1
10											0*	1
	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Elaborado pelos autores, utilizando o Software Excel (2022)

**Figura 15** – Primeiras restrições utilizadas



Fonte: Print do Software Excel (2022)



Dessa forma obtemos o seguinte resultado:

	Al Najada Doha Hotel	Museu da Arte Islâmica	Katara Cultural Village	Corniche	The Pearl	Banana Island	MIA Park	Museu Nacional do Catar	national library	Museum of illusions
Al Najada Doha Hotel	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Museu da Arte Islâmica	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Katara Cultural Village	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Corniche	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
The Pearl	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Banana Island	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
MIA Park	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Museu Nacional do Catar	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
national library	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Museum of illusions	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Figura 16 – Tabela utilizada para informar o sequenciamento das rotas

Fonte: Elaborado pelos autores, utilizando o Software Excel (2022)

Utilizando a tabela 01 e como primeira solução, identificamos que a distância a ser percorrida é de 59,3km, porém este não é um resultado satisfatório uma vez que a partir dele foram identificados 4 sub-ciclos:

- Al Najada Doha Hotel - Museu da Arte Islâmica - Al Najada Doha Hotel
- Katara Cultural Village - The Pearl - Katara Cultural Village
- Corniche - national library - Museum of illusions – Corniche
- MIA Park - Museu Nacional do Catar -Banana Island - MIA Park

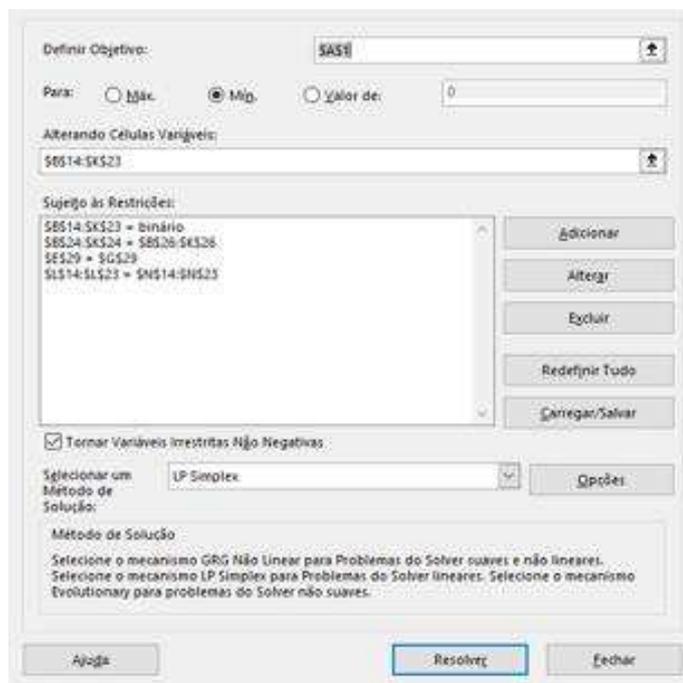
Observa-se que, fisicamente seria impossível uma pessoa realizar esse percurso já que não existe nenhuma forma de se alcançar o próximo sub-ciclo já que não há nenhum tipo de ligação entre os eles. Para o problema do caixeiro viajante ser resolvido de forma satisfatória, nós precisamos quebrar os ciclos menores adicionando novas restrições ao solver, até que cheguemos à solução ótima, onde será determinado apenas um ciclo passando por todos os pontos e retornando de partida.

Dessa forma, para quebrar o primeiro ciclo, nós temos que informar ao programa que as interações entre o Al Najada Doha Hotel e o Museu da Arte Islâmica devem ser igual a 1, ou seja, o turista deve sair de um ponto para o outro ou visse e versa, mas nunca os dois ao

mesmo tempo. E assim vamos repetindo essas etapas e restrições até chegarmos ao resultado ideal. Para a tabela de distancias foram realizadas 5 iterações.

Conforme figura a seguir, a segunda iteração:

**Figura 17 – Restrições utilizadas na segunda tentativa**



Fonte: Print do Software Excel (2022)

**Figura 18 – Tabela utilizada para informar o sequenciamento das rotas na segunda tentativa**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores, utilizando o Software Excel (2022)



- Sub-Ciclos  
1-2-7-8-6-1  
3-5-3  
4-9-10-4

Terceira iteração:

Figura 19 – Tabela utilizada para informar o sequenciamento das rotas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores, utilizando o Software Excel (2022)

- Sub-Ciclos: 1-2-7-8-6-1  
3-10-4-9-5-3

Quarta iteração:

Figura 20 – Tabela utilizada para informar o sequenciamento das rotas na quarta iteração

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores, utilizando o Software Excel (2022)



- Sub- Ciclos:

1-2-4-9-7-8-6-1  
3-5-10-3

Quinta iteração:

**Figura 21** – Tabela utilizada para informar o sequenciamento das rotas na quinta iteração

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores, utilizando o Software Excel (2022)

- Sub- Ciclos:

1-2-9-7-8-6-1  
3-5-10-4-3

Sexta iteração:

**Figura 22** – Tabela utilizada para informar o sequenciamento das rotas na sexta iteração

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores, utilizando o Software Excel (2022)

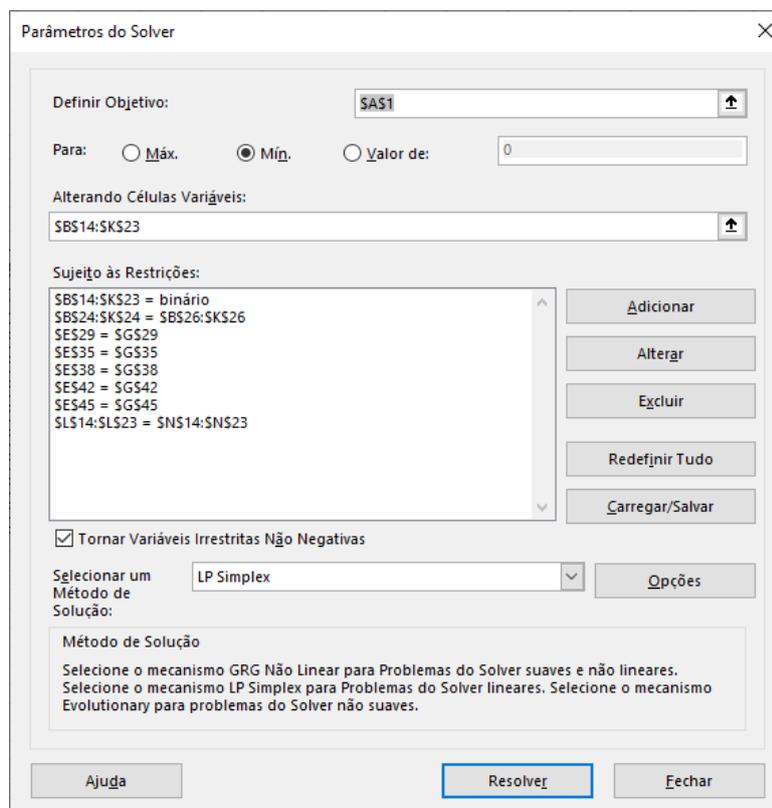
- Ciclo: 1-2-3-5-10-4-9-7-8-6-1

Assim, apenas na sexta iteração foi possível realizar um ciclo fechado, onde o turista conseguiria seguir a sequência de cidades e voltar para a inicial. A partir da seguinte sequência: Al Najada Doha Hotel - Museu da Arte Islâmica - Katara Cultural Village - The Pearl - Museum of illusions – Corniche - national library - MIA Park - Museu Nacional do Catar - Banana Island - Al Najada Doha Hotel

Ademais, ressalta-se que o presente resultado utilizando os dados da tabela 01, revela que a distância total a ser percorrida é de 79,2 km. No entanto a partir da tabela 02, verificou-se que esse percurso demoraria um total de 266min, ou seja, 4 horas e 26 min apenas nos deslocamentos.

Além  
construídas  
restrições  
tentativa

**Figura**  
utilizadas  
solução



disso, foram  
um total de 5  
(uma para cada  
de solução):

**23** – Restrições  
para obtenção da  
ótima



Fonte: Print do Software Excel (2022)

Figura 24– Tabela utilizada para informar o sequenciamento ótimo das rotas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0		1 =	1
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		1 =	1
3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		1 =	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0		1 =	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		1 =	1
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1 =	1
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		1 =	1
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		1 =	1
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0		1 =	1
10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0		1 =	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Primeira:	1-2-1 3-5-3 4-9-10-4 7-8-6-7			1 =		1							
Segunda:	1-2-7-8-6-1 3-5-3 4-9-10-4			1 =		1							
Terceira:	1-2-7-8-6-1 3-10-4-9-5-3			4 =		4							
Quarta:	1-2-4-9-7-8-6-1 3-5-10-3			2 =		2							
Quinta:	1-2-9-7-8-6-1 3-5-10-4-3			3 =		3							
Sexta:	1-2-3-5-10-4-9-7-8-6-1												

Fonte: Elaborado pelos autores, utilizando o Software Excel (2022)

Nesse sentido, a partir desses resultados o grupo reiniciou o projeto utilizando a tabela-02 de tempos, para identificar o caminho com o menor tempo possível e qual a distância total seria percorrida. Para este cenário foram realizadas 5 iterações, chegando ao seguinte resultado:

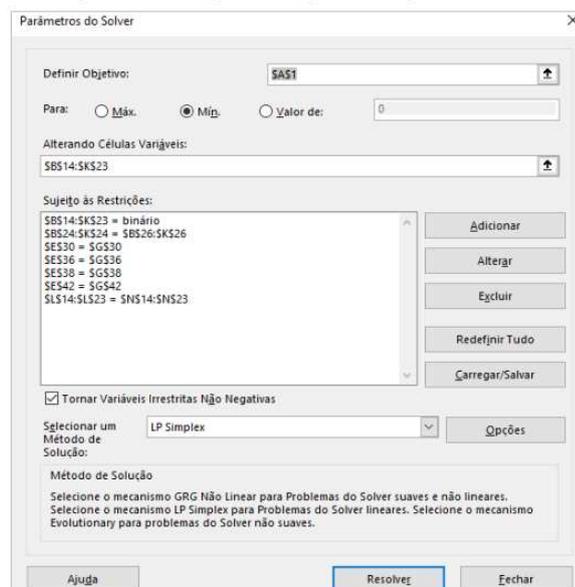
**Figura 25** – Tabela utilizada para informar o sequenciamento ótimo das rotas com relação ao tempo

	Al Najada Doha Hotel	Museu da Arte Islâmica	Katara Cultural Village	Corniche	The Pearl	Banana Island	MIA Park	Museu Nacional do Catar	national library	Museum of illusions
Al Najada Doha Hotel	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Museu da Arte Islâmica	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Katara Cultural Village	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Corniche	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
The Pearl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Banana Island	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
MIA Park	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Museu Nacional do Catar	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
national library	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Museum of illusions	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores, utilizando o Software Excel (2022)

- Caminho obtido: Al Najada Doha Hotel - Museu da Arte Islâmica - MIA Park - Museu Nacional do Catar - Banana Island - Katara Cultural Village - The Pearl - Museum of illusions – Corniche - national library - Al Najada Doha Hotel

Quando analisamos esse resultado em acordo com os valores na tabela-01, percebemos que a distância a ser percorrida é de 79,2 km. E a partir dos valores da tabela 02 observamos que esse percurso levaria o total de 152min, ou seja, 2 horas e 32min para ser realizado.



**Figura 26** – Restrições utilizadas para obtenção da solução ótima com relação ao tempo



Fonte: Print do Software Excel (2022)

A partir dos resultados obtidos e das análises realizadas, concluímos que as duas abordagens trouxeram resultados aceitáveis e atingiram os objetivos. Porém, ao utilizar os tempos de deslocamento como parâmetro, conforme dados da **Tabela 02**, foram obtidos resultados mais assertivos em comparativo à utilização das distância como parâmetro principal, conforme dados da **Tabela 01**.

O critério tempo obteve os melhores resultados em relação à distância devido aos seguintes aspectos: considerou o menor tempo possível de percurso; resultou numa distância igual a que foi obtida na análise anterior que considera a variável deslocamento; de modo que a solução encontrada otimizou o percurso e o tempo a ser percorrido por caminhada, que a princípio seria de 12,2 km na primeira solução para 2,1 km na segunda solução com um tempo total de 152 minutos para 27 minutos de caminhada respectivamente.

**Figura 27** – Tabela utilizada para informar o sequenciamento ótimo das rotas com relação ao tempo, e os resultados dos ciclos encontrados em todas as tentativas



	Al Najada Doha Hotel	Museu da Arte Islâmica	Katara Cultural Village	Corniche	The Pearl	Banana Island	MIA Park	Museu Nacional do Catar	national library	Museum of illusions				
Al Najada Doha Hotel	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =			1
Museu da Arte Islâmica	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1 =			1
Katara Cultural Village	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1 =			1
Corniche	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1 =			1
The Pearl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1 =			1
Banana Island	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1 =			1
MIA Park	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1 =			1
Museu Nacional do Catar	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1 =			1
national library	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1 =			1
Museum of illusions	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1 =			1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
Primeira:		1-8-6-1 2-7-2 3-5-3			1 =		1							
		4-9-10-4												
Segunda:		1-2-7-8-6-1 3-5-3-5 4-9-10			2 =		2							
Terceira:		1-2-7-8-6-1 3-5-10-4-9-3			4 =		4							
Quarta:		1-2-7-8-6-9-10-4-1 5-5-3			1 =		1							
Quinta:		1-2-7-8-6-3-5-10-4-9-1												

Fonte: Elaborado pelos autores, utilizando o Software Excel (2022)

Diante dos resultados apresentados, ficou comprovado que o tempo é um critério mais eficaz para se considerar quando se quer realizar grandes percursos. Tendo em vista que sozinho ele faz o equilíbrio entre a distância percorrida, considerando as variações externas que podem ocorrer durante a realização dos percursos, tais como engarrafamento, obras na pista, etc. E também, notou-se que apesar de a primeira solução revelar uma resposta possível ao problema, a depender das restrições e prioridades o método pode apresentar diferentes rotas a partir de diferentes prioridades que devem ser modeladas nas restrições do modelo, de modo que fique o mais claro possível o objetivo a ser alcançado.

## 5. Considerações finais

A pesquisa operacional tornou-se uma área da matemática que fundamenta a tomada de decisão no dia a dia para problemas reais que variam dos mais simples aos mais complexos. Com a sua utilização, é possível a tomada de decisão de forma racional e eficiente, substituindo decisões empíricas baseadas em intuições e experiências.

O presente projeto faz total sentido para empresas que trabalham com organização de viagens e turismo, pois são responsáveis por toda a organização e logística de seus clientes, e se percebe que com a aplicação da pesquisa operacional podemos abordar diferentes objetivos a serem otimizados, como por exemplo: distância, custo, segurança ou tempo.

## REFERÊNCIAS



AGRESTI, Alan; FINLAY, Barbara. Métodos estatísticos para as ciências sociais. Penso Editora, 2012.

CARVALHO, Wagner dos Anjos et al.. APLICAÇÃO DA PESQUISA OPERACIONAL POR MEIO DO MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR EM DIAGRAMAS DE REDE NO GERENCIAMENTO DE PROJETOS. In: Anais do simpósio de engenharia de produção: SIMEP. Anais Rio de Janeiro(RJ) UVA, 2022. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/xsimep/463050>. Acesso em: 14/02/2023 19:37

COLIN, Emerson C. Pesquisa operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas. 2. ed.; São Paulo: Atlas, 2007.

DE AZEVEDO, C. S.; MALDONADO, M. Análise das restrições de eliminação de sub-rotas do tipo fluxo de commodities para o problema do caixeiro viajante assimétrico / Analysis of commodity flow type sub-route elimination constraints for the asymmetric traveling salesman problem. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 7, n. 6, p. 62470–62480, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n6-565. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/31839>. Acesso em: 20 feb. 2023.

GOLDBARG, Marco Cesar; LUNA, Henrique Pacca L. Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

66

LIEBERMAN, Gerald J. Introdução à pesquisa operacional. McGraw Hill Brasil, 2013.

MENGER, K. Das botenproblem. Ergebnisse eines Mathematischen Kolloquiums, v.2, n.4, p. 11-12, 1932.

MILLER, C. E.; TUCKER, A. W.; ZEMLIN, R. A. Integer programming formulation of traveling salesman problems. Journal of the ACM (JACM), ACM New York, NY, USA, v. 7, n. 4, p. 326–329, 1960.

RAGSDALE, Cliff T. Modelagem de planilha e análise de decisão: uma introdução prática a business analytics. Tradução de Foco Traduções: revisão técnica João Luiz Becker. São Paulo: Cengage Learning, 2018.

LACHTERMACHER, Gerson. Pesquisa operacional na tomada de decisões. 5ª. ed. Rio de Janeiro: LTC.

G

I

L

,

A

.

C

.

C