UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Amanda Isabel Costa

USO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE PARA OTIMIZAÇÃO DE ROTAS: UM ESTUDO DE CASO NA FÓRMULA 1 EM 2023

CURITIBA

2023

Amanda Isabel Costa

USO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE PARA OTIMIZAÇÃO DE ROTAS: UM ESTUDO DE CASO NA FÓRMULA 1

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Profª Drª Silvana Pereira Detro

CURITIBA
2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter me colocado nos lugares certos, nas horas certas e com as pessoas certas, além de ter me dado toda a força que eu precisei ao longo da minha graduação. Aos meus familiares, por sempre estarem presentes em minha vida, me apoiando e me incentivando a seguir em frente. Aos meus amigos, por sua presença constante, seja ela física ou virtual. E por fim, mas não menos importante, aos professores do departamento, sobretudo a minha orientadora, por toda a paciência ao longo desse processo.

“Você só precisa ser aceito por quem você é e se orgulhar de quem você é e é isso que eu estou tentando fazer.”

Sir Lewis Hamilton

RESUMO

A roteirização é uma técnica utilizada na logística de distribuição que tem como objetivo otimizar as rotas de entrega dos produtos, reduzir os custos e melhorar o nível de serviço ao cliente. Consiste em selecionar o melhor caminho a ser percorrido para que o veículo de transporte atenda a um conjunto de destinos com o menor custo e menor tempo possível. Diversas técnicas podem ser aplicadas para tal, como algoritmos matemáticos. O trabalho aqui apresentado, através do algoritmo do Caixeiro Viajante, buscou criar uma sequência ótima para o calendário da temporada 2023 do principal campeonato do automobilismo mundial, a Fórmula 1. Foi primeiramente realizada uma revisão bibliográfica onde são definidos os principais conceitos que colaboram para o entendimento do trabalho. Em seguida é apresentado um estudo de caso onde é feita a otimização em si. As distâncias entre os diversos pontos foram calculadas e então processadas pelo algoritmo. Além da redução da distância percorrida, outros benefícios que podem ser observados são menores gastos operacionais, menor rotatividade e maior satisfação de funcionários.

Palavras-chave: Otimização, Caixeiro Viajante, Fórmula 1.

ABSTRACT

Routing is a technique used in distribution logistics, which aims to optimize product delivery routes, reduce costs and improve the level of customer service. It consists of selecting the best Route to take so the transport Vehicle serves a set of destinations at the lowest cost and in the shortest possible time. A lot of techniques could be Applied, like mathematical algorithms. This paper, through the traveling salesman algorithm, sought toc reate the best sequence for the 2023 calendar of the main world motorsport championship, Formula One. Firstly, a bibliographic review was carried out, where the main concepts that contribute to the understanding of the work are defined. Next, a case study is presented where the optimization itself is performed. The distances between the different points were calculated and then processed by the algorithm. In addition to reducing the distance traveled, other benefits that can be observed are lower operating expenses, lower turnover and greater employee satisfaction.

Key words: Otimization, Traveling Salesman Problem, Formula One.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE EQUAÇÕES

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DFJ: Formulação de Dantzig-Fulkerson-Johnson para o Problema do Caixeiro Viajante.

FIA: Federação Internacional de Automobilismo.

F1: Fórmula 1 ou *Formula One.*

GP: Grande Prêmio ou *Grand Prix.*

PCV: Problema do Caixeiro Viajante.

PL: Programação Linear.

TSP: *Traveling Salesman Problem.*

VRP: *Vehicle Routing Problem.*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

A Logística é algo fundamental para qualquer organização que deseja excelência em seus processos. De acordo com Ballou (2006), a logística é o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e informações relativas, desde o ponto de origem, até o ponto de consumo, com o propósito de atender as exigências do cliente.

De acordo com Christopher (2016), a logística de distribuição é responsável por garantir que os produtos certos sejam entregues aos clientes certos, na quantidade certa, no local certo e no momento certo. Mas, para assegurar o alto desempenho desses serviços, as empresas despendem altos custos. Por isso, pode-se deduzir que existe uma relação forte entre a logística e a área de transportes e roteirização, pois os custos logísticos, principalmente os relativos a meios de transporte, representam uma parcela expressiva no custo total das mercadorias.

A importância da roteirização de veículos, bem como a diversidade de problemas do mundo real e a sua complexidade computacional, desafia os estudiosos no sentido de se buscarem novos algoritmos que permitam obter melhores resultados e resolver problemas de dimensões crescentes e cada vez mais complexos. Segundo Bowersox et al. (2013), com a roteirização é possível maximizar o uso dos recursos de transporte, assim como o tempo disponível, além de garantir a eficiência e eficácia das operações de distribuição. Diversas técnicas podem ser utilizadas para a realização da roteirização, como algoritmos de otimização matemática, sistemas de informações geográficas e softwares específicos, conforme destaca Christopher (2016).

A consequência direta disso é a satisfação do cliente e aumento da competitividade. Porém, um ambiente competitivo exige muito mais dos colaboradores da empresa, fazendo com que eles vivam constantemente sob pressão.

Segundo Maximiano (2000), os primeiros estudos sobre a relação entre desempenho humano com o ambiente de trabalho foram feitos pelo psicólogo Elton Mayo, entre as décadas de 1920 até 1940. Nesses estudos, comprovou-se a relação diretamente proporcional entre satisfação no trabalho e níveis de produção. Ou seja, quanto mais satisfeito o funcionário está, mais produtivo ele vai ser.

Um exemplo de local onde funcionários são cobrados constantemente por resultados e alta performance é o ambiente da Fórmula 1, foco do estudo de caso do presente trabalho. O objetivo da categoria é chegar ao número de 23 finais de semana de corridas por ano. Isso gerará uma carga maior de trabalho nas equipes, considerando que um ano possui 52 semanas e uma temporada se inicia normalmente no mês de março, tendo a última corrida ao final do mês de novembro.

De acordo com a jornalista Julianne Cerasoli, colunista do portal UOL e produtora dos canais Band, a categoria tem como meta de regionalizar o calendário quando se tem sequências em países próximos, de forma a evitar situações como México, Brasil e Catar em três finais de semanas seguidos ou a prova canadense da categoria em meio as provas europeias.

Ainda segundo a jornalista, a *Liberty Media*, detentora dos direitos comerciais da F1 e quem negocia os contratos com os promotores dos Grandes Prêmios, também chamados de GPs, tem noção de que esse constante bate e volta não ajuda em nada na ideia de sustentabilidade que o esporte busca promover. Isso sem mencionar o custo humano, que vem sendo sentido pelas equipes nos últimos anos. Diversos funcionários tem pedido para serem reenquadrados em funções dentro das fábricas.

Levando esses aspectos em consideração, o presente trabalho se propõe em criar um calendário ótimo para a temporada 2023 do campeonato da Fórmula 1, com o objetivo de minimizar as distâncias percorridas por toda a estrutura da categoria ao longo do campeonato do presente ano.

1.1 Objetivo Geral

Propor a roteirização das corridas de Fórmula 1 utilizando o Problema do Caixeiro Viajante a fim de minimizar as distâncias percorridas.

1.2 Objetivos Específicos

Com base no objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são propostos:

- Identificar, por meio da revisão de literatura, algoritmo para roteirização
- Identificar as restrições referentes a Formula 1
- Utilizar um algoritmo de roteirização para um problema real

- Regionalizar o calendário da Fórmula 1, a fim de reduzir deslocamentos desnecessários

1.3 Estrutura

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos: 1) Introdução; 2) Estrutura; 3) Revisão Bibliográfica; 4) Metodologia, 5) Desenvolvimento, 6) Análise dos dados e 7) Conclusão. Na Introdução, a importância do tema foi discutida de forma um pouco mais abrangente. Além disso, os objetivos gerais e específicos foram apresentados.

Na Estrutura, é explicado como o trabalho está organizado. Na Revisão Bibliográfica, os termos necessários para o entendimento do conteúdo são revisados, de forma que o leitor consiga acompanhar o restante do conteúdo. Concluída essa etapa, o capítulo 4 trata sobre a definição dos instrumentos metodológicos e o modelo de análise da pesquisa, os quais nortearam os trabalhos de coleta e tratamento dos dados.

Com base nas informações levantadas, no capítulo 5 é apresentado o estudo de caso, cujo objeto de estudo foi o calendário 2023 da F1, divulgado no dia 20 de setembro de 2022, inicialmente com 24 corridas. O calendário foi atualizado e confirmado com 23 corridas em 17 de janeiro de 2023, após a exclusão da etapa de Xangai, devido à manutenção da rígida política de Covid Zero do governo chinês.

No capítulo 6 é realizada a Análise dos dados, onde são discutidos os resultados obtidos. O capítulo 7 trata-se da Conclusão, onde é feito um fechamento do conteúdo tratado e são feitas sugestões para próximos trabalhos que sigam essa mesma linha de pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo serão apresentados conceitos necessários para o completo entendimento do restante do presente trabalho, como Problema do Caixeiro Viajante, Pesquisa Operacional, Programação Linear, Roteirização e Fórmula de Haversine.

2.1 Pesquisa Operacional

A pesquisa operacional é a aplicação de métodos científicos a problemas complexos para auxiliar no processo de decisões, tais como projetar, planejar e operar sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos (ARENALES *et al.,* 2007).

A origem histórica da Pesquisa Operacional é geralmente vinculada às ações militares oriundas dos primórdios da Segunda Guerra Mundial. Devido ao cenário de grande complexidade deste período, os exércitos aliados convocaram grandes cientistas de suas respectivas nações com a finalidade de lidarem com os problemas consequentes da guerra, de natureza logística, operações táticas e planos estratégicos militares (BELFIORE e FÁVERO, 2013).

Com o término da guerra de 1945, logo houve interesse na exploração destas técnicas desenvolvidas, gerando a modernização e aperfeiçoamento dos seus processos. Aos poucos, a Pesquisa Operacional foi sendo disseminada, e devido a percepção de sua versatilidade, ela passou a ser aplicada em vários tipos de problemas dos setores público e privado, sendo comercial, industrial ou governamental (ARENALES *et al.,* 2015).

De acordo com Hillier e Lieberman (2013), a Pesquisa Operacional é uma ciência voltada para a solução de problemas reais, com a aplicação de conceitos que geram a minimização de custos, otimização de rotas e maximização de lucros, sendo uma maneira das empresas identificarem soluções para problemas complexos com a ajuda de fórmulas e cálculos, otimizando assim seus resultados e aumentando seu desempenho. A aplicação da Pesquisa Operacional trouxe resultados satisfatórios na administração das empresas, pois a sua utilização é ampla, podendo ser usada em agências governamentais, instituições financeiras e hospitais, com várias técnicas para resolução de problemas (SILVA, 2013).

De forma simplificada, a PO baseia-se em resoluções de problemas e otimização de processos usando modelos matemáticos. Sua aplicação pode ocorrer através da programação linear, que busca melhor aproveitamento do tempo e de recursos, visando minimizar os custos e maximizar os resultados, considerando as restrições envolvidas no processo (BAPTISTA, 2020).

2.2 Programação Linear

Segundo Gomes e Ribeiro (2004), a programação linear lida basicamente com o problema de alocar recursos escassos a atividades que por eles “competem” entre si, e cujo modelo se representa por meio de expressões lineares. É representada por equações e funções lineares tendo como aplicação o apoio à decisão. Ocorre quando se decide atingir um objetivo. Tem por resultado a alocação ótima de recursos, por isso é caracterizada como uma técnica de otimização (MENDONÇA; SILVA; KESTRING, 2017).

Caixeta-Filho (2009) ainda entende a Programação Linear como um aprimoramento da técnica de resolução de sistemas de equações lineares via inversão sucessiva de matrizes, com a vantagem de incorporar uma equação linear adicional representativa relacionada com um comportamento que deve ser otimizado.

Para Andrade (2014), a modelagem de problemas de alocação de recursos segue 3 etapas: (1) Formulação do problema; (2) Definição de variáveis/montagem do modelo e (3) Relações matemáticas/resolução do modelo. Quando se tem a condição de resolver um problema de programação linear, o Método Simplex auxilia no entendimento e escolha de qual sistema de equações deve ser resolvido, e se o próximo sistema a ser resolvido, fornecerá uma solução melhor que as anteriores, além de identificar uma solução ótima, uma vez que se tenha encontrado.

A Programação Linear auxilia em diversas situações, como: logística do transporte, determinação da capacidade máxima, determinação de um esquema de fluxo de custo mínimo, fluxo de materiais, entre outros que podem ser eficientemente resolvidos se modelados como uma rede (TAHA, 2008). Para que um problema matemático se encaixe em um modelo de Programação Linear, ele precisa ter um formato bem genérico, a fim de buscar planejar as atividades para ter um melhor resultado entre todas as alternativas possíveis (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Supondo o modelo de PL apresentado na Equação 4, o objetivo é maximizar o lucro (Z). As variáveis seriam a quantidade a ser vendida de cada produto (x1, x2, ... , xn), e o parâmetro de custo de cada produto (an). A função objetivo está sujeita a restrições, as quais também possuem parâmetros para as variáveis (bn e cn), que podem representar informações diversas, como por exemplo produção em fábricas ou máquinas diferentes.

Figura 1 - Modelo Genérico de PL

$$\text{Maximizar } Z = a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots + a_nx_n$$

Sujeito a

$$\begin{aligned} b_1x_1 + b_2x_2 &\leq c_1 \\ b_2x_1 + b_3x_2 &\leq c_2 \\ &\vdots \\ b_nx_n + b_nx_n &\leq c_n \end{aligned}$$

$$\text{Onde } x_1, x_2, \ldots, x_n \geq 0$$

Fonte: SILVA; FERREIRA; ESCARPINI-FILHO (2019)

2.3 Roteirização

De acordo com Laporte *et al.,* 2002, o problema de roteirização de veículos ou *Vehicle Routing Problem – VRP,* consiste em definir roteiros de veículos que minimizem o custo total do atendimento, cada um dos quais iniciando e terminando no depósito ou base dos veículos, assegurando que cada ponto seja visitado exatamente uma vez e a demanda em qualquer rota não exceda a capacidade do veículo que a atende. O mesmo autor ainda acrescenta em 2009 que foi o clássico trabalho de Dantzig e Ramser (1959) que introduziu o VRP para a comunidade acadêmica e apresentou a primeira heurística para a resolução desse tipo de problema, a qual combinava vértices ou vértices e rotas parciais a fim de construir um conjunto de rotas para os veículos.

Bertaglia (2009) adiciona que a roteirização é complexa, devido a diversas variáveis envolvidas no transporte, levando em consideração o tempo de entrega, a dimensão, o peso da carga, número de clientes, tipo de veículo utilizado e restrições no trajeto a ser percorrido.

A roteirização tem como um dos objetivos principais propiciar um serviço de alto nível aos clientes, mas mantendo os custos operacionais e de capitais tão baixos quanto possível (NOVAES, p. 283). Os problemas de roteirização de veículos são de natureza combinatória e pertencem a uma categoria ampla de problemas de pesquisa operacional conhecida como problemas de otimização de rede. Nessa categoria encontram-se problemas clássicos como problema do fluxo máximo, problema do caminho mínimo, problema do transporte e problema da designação (GOLDEN; BALL; BODIN, 1981).

A resolução de VRPs pode diminuir bastante o custo de transporte, levando para uma economia bastante significativa para a empresa distribuidora como para o consumidor final (ENOMOTO, 2005).

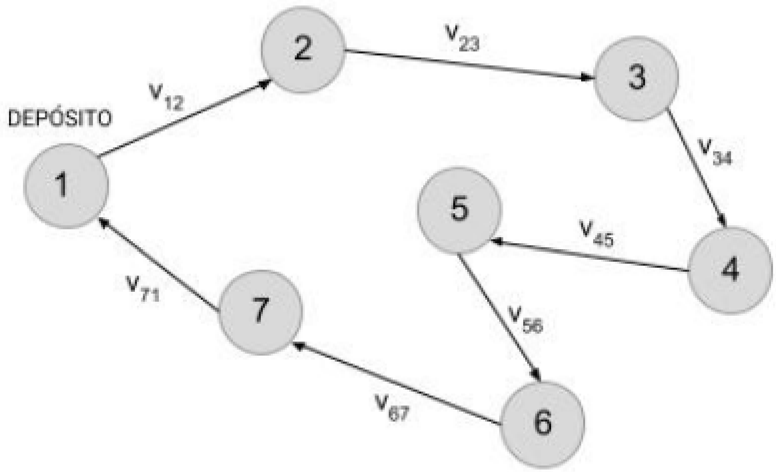
2.4 O Problema do Caixeiro Viajante

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é um dos mais clássicos problemas de programação matemática e consiste em “simular” um roteiro de um caixeiro viajante que deve percorrer determinado número de cidades, minimizando o custo total do percurso escolhido (BRAGA, 2007).

Problemas matemáticos relacionados ao PCV foram estudados nos anos de 1800 pelo matemático irlandês Sir William Rowam Hamilton e pelo britânico Thomas Penyngton Kirkman (PEGG JR, 2009). Existem um extenso número de aplicações do problema do caixeiro viajante, à exemplo da perfuração de placas de circuito impresso, revisão de motores de turbina a gás, cristalografia de raio-x, fiação de computadores, problema da ordem de coleta em armazéns, roteamento de veículos, dentre outros (MATAI; SINGH; MITTAL, 2010; CALHEIROS, 2017).

O algoritmo do Caixeiro Viajante consiste em encontrar um ciclo hamiltoniano de custo mínimo em que um grafo G = (N, M), onde N = 1, ..., n é o conjunto de vértices representando as cidades que precisam ser visitados e M = 1, ..., m é o conjunto de arestas que representam as distâncias entre as cidades. Desta forma, o PCV consiste em basicamente determinar a menor rota a ser percorrida de forma que todos os vértices do grafo sejam visitados uma única vez, retornando ao vértice de origem, como pode ser visualizado na Figura 1, onde a rota inicia-se no depósito, passa uma única vez por todos os vértices e retorna ao depósito (GOLDBARG, 2012) e (GRAEFF, 2020).

Figura 2 - Exemplo de Grafo



Fonte: (GRAEFF, 2020)

A utilização de uma técnica de força bruta permitiria obter a solução ótima do problema, porém a sua utilização é impraticável a depender do elevado número de caminhos a serem testados. No caso do Caixeiro Viajante são (n-1)! caminhos possíveis (NETTO; JURKIEWICZ, 2017).

O problema do caixeiro viajante foi abordado de diversas maneiras, as quais estão registradas na literatura com o objetivo de viabilizar a solução do problema. Algumas dessas maneiras de abordagem ficaram famosas por características peculiares sendo consideradas canônicas (COSTA, 2020). Uma dessas formulações foi proposta em (DANTZIG; FULKERSON; JOHNSON, 1954) e é conhecida como Formulação Dantzig-Fulkerson-Johnson, ou formulação DFJ. Nessa formulação, o PCV foi formulado com uma função objetivo, sujeito a restrições binárias e cuja representação é dada por um grafo G. A formulação do problema é apresentada na Equação 1 e ela é sujeita às restrições 2, 3, 4 e 5, de acordo com (COSTA, 2020).

Equação 1 - Formulação DFJ

$$Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{i,j} x_{i,j} \tag{1}$$

Equação 2 - Restrição 1 da formulação DFJ

$$\sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{x_{i,j}} = \mathbf{1}, \forall \boldsymbol{j} \in \boldsymbol{N} \tag{2}$$

Equação 3 - Restrição 2 da formulação DFJ

$$\sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{x_{i,j}} = \mathbf{1}, \forall \boldsymbol{i} \in \boldsymbol{N} \tag{3}$$

Equação 4 - Restrição 3 da formulação DFJ

$$\sum_{i,j \in S} \boldsymbol{x_{i,j}} \leq |\boldsymbol{S}| - \mathbf{1}, \forall \boldsymbol{S} \subset \boldsymbol{N} \tag{4}$$

Equação 5 - Condição DFJ

$$\boldsymbol{x_{i,j}} \in \{\mathbf{0}, \mathbf{1}\}, \forall \boldsymbol{i}, \boldsymbol{j} \in \boldsymbol{N} \tag{5}$$

A formulação DFJ é pioneira, mas existem outras formulações que foram propostas em anos posteriores. Uma delas foi a proposta por (MILLER; TUCKER; ZEMLIN, 1960), uma generalização do problema conhecida como Formulação Miller-Tucker-Zemlin. Os autores formularam o problema da seguinte forma: Um caixeiro viajante precisa passar por n-1 cidades indexadas por 2, ..., n somente uma única vez. O depósito, que é o ponto de partida, e o ponto de retorno corresponde ao índice 1. Neste caminho, o caixeiro pode retornar ao depósito t vezes (incluindo o último retorno), não devendo ele visitar mais do que p cidades diferentes em uma única viagem. A formulação é apresentada na Equação 6, sujeita às restrições de 7 até 12.

Equação 6 - Formulação MTZ

$$\boldsymbol{Z} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{c_{i,j} x_{i,j}} \tag{6}$$

Equação 7 - Restrição 1 da formulação MTZ

$$\sum_{i=2}^{n} \boldsymbol{x_{i,1}} = \boldsymbol{t} \tag{7}$$

Equação 8 - Restrição 2 da formulação MTZ

$$\sum_{i=1}^{n} x_{j,i} = 1, (j = 2, \dots, n) \tag{8}$$

Equação 9 - Restrição 3 da formulação MTZ

$$\sum_{j=1}^{n} x_{j,i} = 1, (i = 2, \dots, n) \tag{9}$$

Equação 10 - Restrição 4 da formulação MTZ

$$u_i - u_j + px_{i,j} \leq p - 1, (2 \leq i \neq j \leq n) \tag{10}$$

Equação 11 - Restrição 5 da formulação MTZ

$$u_i \geq 0 \ (2 \leq i \leq n) \tag{11}$$

Equação 12 - Condição MTZ

$$x_{i,j} \in \{0, 1\}, \forall i, j \in N \tag{12}$$

2.5 Fórmula de Haversine

Segundo Hijmans et. al. (2010), para uma aproximação simples e com precisão aceitável na hora de se calcular uma distância, deve-se considerar o formato da Terra como sendo uma esfera perfeita.

Os cálculos começam a ficar imprecisos conforme se afasta da linha do Equador. Caso seja necessário uma alta precisão, o ideal seria utilizar a Fórmula de Vincenty, uma vez que ela leva em consideração o achatamento da Terra nos polos, a sua característica elíptica e garante uma precisão de 0,5mm. Contudo, devido ao seu peso computacional ser consideravelmente superior e mais complexa à sua implementação, a comunidade científica opta pela Fórmula de Haversine (SILVA, 2019), uma vez que conforme explicado por Ribeiro Júnior et. al. (2013), o erro médio é de apenas 0,3% nos resultados dos cálculos.

A Equação de Haversine utiliza a função *haversine* para calcular a distância entre dois pontos na superfície de uma esfera (SINNOT, 1984). Ainda conforme Carvalho (2013, p. 39), é uma importante equação usada em navegação, fornecendo a distância entre dois pontos a partir de suas latitudes e longitudes. A equação 13 apresenta a equação de Haversine.

Equação 13 - Equação de Haversine

$$\mathbf{haversine}\ (\boldsymbol{\theta}) \equiv \mathbf{sin}^2(\frac{\boldsymbol{\theta}}{\mathbf{2}}) \tag{13}$$

Considerando os dois pontos de uma esfera de raio R, com latitudes e longitudes (l1, ∆1), (l2, ∆2), respectivamente, a distância d é definida pela equação 14 abaixo:

Equação 14 - Cálculo das distâncias

$$\boldsymbol{d} = \mathbf{2}\boldsymbol{Rarcsin}\sqrt{\left(\boldsymbol{sin}^2(\frac{\boldsymbol{l_2} - \boldsymbol{l_1}}{\mathbf{2}}) + \mathbf{cos}(\boldsymbol{l_1}) * \mathbf{cos}(\boldsymbol{l_2}) * \boldsymbol{sin}^2(\frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\mathbf{2}})\right)} \tag{14}$$

Os valores de latitude e longitude utilizados na equação devem possuir suas medidas em ângulos radianos. A medida de distância retornada está totalmente relacionada a medida do raio utilizado. Para o cálculo de distância de coordenadas geográficas, é utilizada uma aproximação do raio médio terrestre de 6371 km (PITZ, 2015).

3 METODOLOGIA

Segundo Prodanov e Freitas (2013), os trabalhos de pesquisa podem ser qualificados em relação a quatro aspectos: quanto ao ponto de vista da sua natureza, dos seus objetivos, procedimentos técnicos e da forma de abordagem do problema.

De acordo com Silva e Menezes (2001), com relação a natureza, uma pesquisa pode ser classificada em pesquisa básica ou pesquisa aplicada. A pesquisa básica objetiva gerar conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista enquanto a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais. Segundo as duas definições apresentadas, o presente trabalho pode ser categorizado como uma pesquisa aplicada.

Com relação ao objetivo de pesquisa, o trabalho de Gil (2008) classifica as pesquisas em três grandes grupos: exploratórias, descritivas e explicativas. Uma pesquisa exploratória tem por objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito. No caso das pesquisas descritivas, a intenção é a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis. Por fim, as pesquisas explicativas têm como preocupação central identificar fatores que determinem ou contribuam para a ocorrência dos fenômenos. Levando em consideração essas definições, este trabalho é uma pesquisa explicativa.

Sob o ponto de vista da abordagem do problema, uma pesquisa pode ser quantitativa ou qualitativa. A primeira é pautada em explicações matemáticas e modelos estatísticos, enquanto a segunda tem enfoque nas interpretações das realidades sociais (BAUER; GASKELL; ALLUM, 2008). Considerando a definição anteriormente colocada, o presente trabalho classifica-se como uma pesquisa quantitativa, porque para a avaliação do problema proposto, serão utilizadas informações quantificáveis e modelos matemáticos.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, este é um estudo de caso, pois envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento (YIN, 2001). O estudo de caso possui uma metodologia de pesquisa classificada como aplicada, na qual se busca a aplicação prática de conhecimentos para a solução de problemas sociais (BOAVENTURA, 2004).

3.2 Procedimentos Técnicos

Primeiramente, foi realizada uma revisão de literatura, com o objetivo de identificar as características e requisitos específicos para a aplicação do algoritmo. Após isso, fez-se necessário levantar informações sobre os locais a serem otimizados. São pontos distantes uns dos outros, então foram selecionadas suas coordenadas geográficas para o cálculo das distâncias.

Para o cálculo da distância por meio da já citada equação de Haversine, é necessário que as coordenadas geográficas que estão em graus sejam convertidas para radianos. Para esse cálculo e o cálculo da distância entre cada um dos pontos, foi criado um algoritmo em Python, automatizando a tarefa.

O passo seguinte é definir quais são as restrições do problema. Essas restrições são importantes porque devem ser consideradas durante a otimização, uma vez que são cenários que interferem no resultado.

Em posse de todas as informações anteriormente mencionadas, instala-se o software que fará a otimização e então segue-se para a aplicação do algoritmo, levando também em consideração as restrições de ordem computacional. O algoritmo realizará a otimização com base nas configurações e restrições necessárias e, por fim, é feita a análise dos resultados.

4 DESENVOLVIMENTO

Principal campeonato do automobilismo mundial, a Fórmula 1 é o ápice quando se trata de competição esportiva para equipes e pilotos (QUINTELA, 2021). Pode ser vista ao vivo em quase todos os países do mundo, atraindo uma das maiores audiências da televisão mundial. A temporada de 2008, por exemplo, conquistou uma audiência global de 600 milhões de pessoas por corrida. Em termos anuais, é o evento esportivo mais assistido de todos, apenas superado em quantidade pelos quadrienais Jogos Olímpicos e Copa do Mundo de Futebol (OLIVEIRA, 2020). No Quadro 1 apresenta-se um breve resumo da categoria, com seus principais acontecimentos desde o seu início, até os dias atuais.

Quadro 1 - Pontos mais importantes na F1

Década	Pontos Importantes
1950	Primeira corrida sancionada do campeonato para carros de F1, vencida pelo italiano Giuseppe Farina, em 10 de abril de 1950. Domínio do piloto argentino Juan Manuel Fangio, 5 vezes campeão da categoria.
1960	Domínio inglês tanto dentro quanto fora das pistas. O reinado britânico chegou a ser ameaçado pela italiana Ferrari, que conquistou dois campeonatos de construtores nessa década (1961 e 1964).
1970	Inovações quanto ao design dos carros, com a introdução de conceitos de aerodinâmica, através da introdução das asas traseiras e dianteiras, aumentando o chamado efeito solo. Brasil é campeão mundial de pilotos pela primeira vez, com Emerson Fittipaldi, a bordo de uma Lotus 72D.
1980	Nascimento dos chamados motores turbo. Apesar de eficientes, foram banidos e substituídos pelos motores V10 e V12. Brasil se destaca como um expoente de grandes pilotos, cujo principal nome foi Ayrton Senna.
1990	Primeira década onde os carros receberam artifícios tecnológicos para auxiliar o piloto. Essa inovação se provou pouco confiável no início, devido a falhas no sistema semiautomático de marchas e controle de tração.

	A morte trágica do brasileiro Ayrton Senna durante uma das corridas da temporada de 1994 trouxe mudanças na área de segurança.
2000	Ascensão da italiana Ferrari e seu piloto alemão Michael Schumacher. Reintrodução dos sistemas de assistência ao piloto.
2010	Domínio da austríaca Red Bull e seu piloto alemão Sebastian Vettel até a mudança de regulamento a partir da temporada de 2014. Domínio da alemã Mercedes e seu piloto britânico Sir Lewis Hamilton a partir da temporada 2015.

Fonte: adaptado de (SOUZA, 2022)

4.2 Organização dos dados

Conforme apresentado anteriormente, o objetivo do presente trabalho é definir a melhor rota – ou calendário ótimo – para a temporada 2023 da F1, ou seja, uma sequência de Grandes Prêmios, de forma a minimizar as distâncias percorridas pela categoria, uma vez que a causa responsável pela maior parte das emissões de CO_2 não são os carros em si, mas toda a logística envolvida no transporte de todos os equipamentos. A Figura 5 mostra o calendário original projetado para o ano de 2023.

Figura 3 - Calendário da temporada 2023 da F1

Fonte: F1 (2023)

Com a definição dos locais das corridas, é necessário identificar a coordenada geográfica de cada autódromo ou circuito em formato decimal, conforme apresentado na Tabela 1, para que se possa calcular as distâncias entre eles.

Tabela 1 - Coordenadas dos Autódromos

Autódromo/Circuito	Coordenadas	Coordenadas em formato decimal
Circuito Internacional do Bahrein	26°01’57’’ N / 50°30’38’’ E	26,0346948/50,5071404
Circuito Corniche de Jeddah	21°37’55’’ N / 39°06’16’’ E	21,6369802/39,098771
Circuito do GP de Melbourne	37°50’59’’ S / 144°58’06’’ E	-37,8500582/144,9668315
Circuito Urbano de Baku	40°22’21’’ N / 49°51’12’’ E	40,3720807/49,8503564
Autódromo Internacional de Miami	25° 57’29’’ N / 80°14’20’’ O	25,9568784/-80,2356209
Autódromo Enzo e Dino Ferrari	44°20’38’’ N / 11°43’ E	44,3447225/11,7136619
Circuito de Monte Carlo	43°44’05’’ N / 7°25’14’’ E	43,7366338/7,4170378
Circuito de Barcelona – Catalunha	41°34’12’’ N / 2°15’40’’ E	41,5684877/2,2551125
Circuito Gilles Villeneuve	45°30’2.08’’ N / 73°31’20.86’’ O	45,5016524/-73,5302228
Circuito de Spielberg	47°13’11.45’’ N / 14°45’53.03’’ E	47,217763/14,7484155
Circuito de Silverstone	52°04’43’’ N / 1°01’01’’ O	52,0733039/-1,0168521
Hungaroring	47°34’44’ N / 19°14’55’’ E	47,5817147/19,2484219
Circuito de Spa - Francorchamps	50°26’14” N / 5°58’17” E	50,4369152,5/5,9698613
Circuito de Zandvoort	52°23’19.75” N / 4°32’27.32” E	52,3877114/4,5420241
Autódromo Nacional de Monza	45°37’14” N / 9°17’22” E	45,6199754/9,2857489
Circuito Urbano de Marina Bay	1°17’29.51” N / 9°17’22’ E	1,2914373/103,861721
Circuito Internacional de corridas de Suzuka	34°50’35” N / 136°32’26’’ E	34,8455979/136,5367635
Circuito Internacional de Losail	25°29’14.39’’ N / 51°27’8.99’’ E	25,4862879/51,4507025
Autódromo Hermanos Rodriguez	19°24’15’’ N / 99°05’19” O	19,4055287/-99,0947549
Autódromo José Carlos Pace (Interlagos)	23°42’03” S / 46°41’48’’ O	-23,7011801/-46,7001431
Las Vegas Strip	36°6’52.9344” N / 115°12’5.2632 W	36,1175584/-115,2014624

Circuito de Yas Marina	24°28’02” N / 54°36’11’’ E	24,4282038/54.4872316

Fonte: a autora (2023)

4.3 Conversão de dados e cálculo das distâncias

Para utilizar a Fórmula de Haversine, as coordenadas foram convertidas de graus para radianos. Para tal, foi escrito o código presente na figura abaixo, na linguagem Python e por intermédio da plataforma Google Colab. O Colaboratory, ou “Google Colab”, é um produto do Google Research, o qual permite que qualquer pessoa escreva e execute código Python arbitrário pelo navegador e é especialmente adequado para aprendizado de máquina, análise de dados e educação.

Figura 4 - Conversão de graus para radianos

```python
from math import sin, cos, sqrt, asin

def distancias_entre_autodromos(A1, B1, A2, B2):
  #A corresponde as latitudes e B corresponde as longitudes. Elas devem ser fornecidas em graus.
  Lat_A1 = float(A1)
  Long_B1 = float(B1)
  Lat_A2 = float(A2)
  Long_B2 = float(B2)

  #Conversão das latitudes e longitudes (que estão em graus) para radianos
  Lat_A1_rad = ((Lat_A1*3.1415)/180)
  Lat_A2_rad = ((Lat_A2*3.1415)/180)
  Long_B1_rad = ((Long_B1*3.1415)/180)
  Long_B2_rad = ((Long_B2*3.1415)/180)

  Distancia_latitude = abs(Lat_A2_rad - Lat_A1_rad)  #Distância entre as latitudes
  Distancia_longitude = abs(Long_B2_rad - Long_B1_rad) #Distância entre as longitudes
```

Fonte: a autora (2023)

Conforme mostra a Figura 6, foi definida uma função, cujas variáveis de entrada são justamente as latitudes e longitudes dos pontos que se deseja calcular as distâncias. Essas variáveis são convertidas para o formato *float* – ou números decimais, multiplicadas pelo valor da constante π (3,1415) e divididas por 180, realizando assim a conversão para radianos. A função *abs* do pacote *math* foi utilizada para garantir que nenhum valor de distância entre latitudes e longitudes fossem negativas. Cada variável da equação de cálculo das distâncias foi calculada separadamente, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Fórmula de Haversine

```
seno_quadrado = (sin(Distancia_latitude/2))**2 #Seno ao quadrado da distância das latitudes dividida por 2

cosseno_Lat1 = cos(Lat_A1_rad) #cosseno das latitudes
cosseno_Lat2 = cos(Lat_A2_rad)

seno_quadrado_2 = (sin(Distancia_longitude/2))**2 #Seno ao quadrado da distância das longitudes dividida por 2

raiz = sqrt((seno_quadrado+(cosseno_Lat1*cosseno_Lat2*seno_quadrado_2))) #Raiz quadrada

arco = asin(raiz) #calculo do arco-seno

Distancia_real = 2*6371*arco #cálculo da distância
print(round(Distancia_real, 2))
```

Fonte: a autora (2023)

Utilizando como exemplo o Autódromo Hermanos Rodríguez e o Autódromo José Carlos Pace (Interlagos), e para demonstrar que a distância de “ida” entre esses pontos é igual a distância de “volta”, foi rodado o código e as saídas obtidas são apresentadas na Figura 8.

Figura 6 - Distância entre Hermanos Rodriguez e Interlagos

```
distancias_entre_autodromos(19.4055237, -99.0947549, -23.701185, -46.7001431) #México para Interlagos
distancias_entre_autodromos(-23.701185, -46.7001431, 19.4055237, -99.0947549) #Interlagos para México
```

```
7430.99
7430.99
```

Fonte: a autora (2023)

4.4 Caixeiro Viajante e Gurobipy

Para utilização do algoritmo do caixeiro viajante foi utilizado a extensão Gurobipy para a linguagem Python. Sem esse passo, algumas funções fundamentais não conseguem ser utilizadas para a resolução. Para não ficar repetindo diversas vezes o nome do pacote, ele será abreviado como “gp”, sem qualquer relação com a abreviatura de *Grand Prix* – ou Grande Prêmio. A Figura 9 apresenta a instalação e a importação do pacote solver.

Figura 7 - Instalação do Gurobipy e sua importação

```
!pip install gurobipy
```

```
Looking in indexes: https://pypi.org/simple, https://us-python.pkg.dev/colab-wheels/public/simple/
Collecting gurobipy
  Downloading gurobipy-10.0.1-cp38-cp38-manylinux2014_x86_64.whl (12.8 MB)
     ━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━ 12.8/12.8 MB 52.9 MB/s eta 0:00:00
Installing collected packages: gurobipy
Successfully installed gurobipy-10.0.1
```

```
import gurobipy as gp
```

Fonte: a autora (2023)

Para facilitar na hora dos cálculos, foi criado um ponto artificial, cujas distâncias para os outros pontos são valores muito acima da média. Essa variável é o ponto de número 24 e será utilizada na hora de fazer o cálculo com as restrições. Foi declarada uma variável com a quantidade de pontos e então lida a matriz com todas as distâncias reais e com o ponto extra. Essa matriz se encontra no Anexo 2. A Figura 10 apresenta a declaração da variável com a quantidade de pontos.

Figura 8 - Declaração da variável com a quantidade de pontos

```
qtd_pontos = 24
```

Fonte: a autora (2023)

São então indexados índices para cada um dos pontos. Após isso, é criado um dicionário de custos, que anexa um valor para cada par de pontos, facilitando assim a resolução na hora dos laços. A Figura 11 apresenta os índices e dicionário dos custos. O print com o resultado do dicionário dos custos está no Anexo 3.

Figura 9 - Índices e dicionário dos custos

```
[9] #índices dos pontos de origem e destino
    origens = [i + 1 for i in range(qtd_pontos)]
    destinos = [i + 1 for i in range (qtd_pontos)]
```

```
#Dicionário dos custos
custos = dict()
for i, origem in enumerate(origens):
  for j, destino in enumerate(destinos):
    custos[origem, destino] = matriz_custos[i][j]

print(origens)
print(destinos)
print(custos)
```

Fonte: a autora (2023)

O modelo de formulação do PCV que foi escolhido para a resolução é a formulação MTZ, pois é a mais adequada para a situação. É feita então a inicialização e declaradas as variáveis. A primeira dela, a variável “x”, que representa se determinado caminho será escolhido ou não, vai ser do tipo binário. A variável u, que ajuda na eliminação de possíveis sub-rotas, será do tipo inteira. As variáveis de decisão são apresentadas na Figura 12.

Figura 10 - Variáveis de decisão

```
#Inicializa o modelo
m = gp.Model()

#Variáveis de decisão
x = m.addVars(origens, destinos, vtype=gp.GRB.BINARY)
u = m.addVars(origens[1:], vtype=gp.GRB.INTEGER, ub=qtd_pontos - 1)
```

Fonte: a autora (2023)

A Função Objetivo, que será do tipo minimização, é então declarada e são também declaradas as restrições padrão do algoritmo do Caixeiro Viajante. A primeira e a segunda são as restrições que garantem que cada ponto será origem e destino exatamente uma única vez e a terceira restrição garante a eliminação de quaisquer sub-rotas. As restrições padrão são apresentadas na Figura 13.

Figura 11 - Restrições Padrão do Problema

```
#Restrições que garantem que cada ponto será origem exatamente uma vez
c1 = m.addConstrs(
    gp.quicksum(x[i, j] for j in destinos if i != j) == 1
    for i in origens)

#Restrições que garantem que cada ponto será destino exatamente uma vez
c2 = m.addConstrs(
    gp.quicksum(x[i, j] for i in origens if i != j)  == 1
    for j in destinos)

#Restrições de eliminação de subrotas
c3 = m.addConstrs(
    u[i] - u[j] + qtd_pontos * x[i, j] <= qtd_pontos - 1
    for i in origens[1:] for j in destinos[1:] if i != j)
```

Fonte: a autora (2023)

Agora vem as restrições particulares do problema. No caso da F1, as principais restrições levadas em conta na hora da montagem do calendário são as seguintes: 1) Por mais próximas que sejam, corridas no mesmo país não podem ser seguidas uma da outra; 2) O Circuito de Yas Marina, em Abu Dhabi, paga um valor extra para ser a última corrida da temporada.

Para a resolução da primeira, altera-se artificialmente o valor da distância entre esses dois pontos para um valor muito mais alto que os outros, de forma que aquele caminho será evitado. Para a resolução da segunda, como comentado anteriormente, foi criado um ponto artificial, com distâncias em valores muito altos, de forma a garantir que o último ponto será Abu Dhabi. Devido a sua proximidade com o local da corrida de outros países do Oriente Médio, caso isso não fosse feito, o algoritmo a colocaria em uma das primeiras corridas, não representando o que realmente acontece. . A Figura 12 mostra as restrições específicas da Fórmula 1.

Figura 12 - Inicialização e restrições

```
#Inicializa o modelo
m = gp.Model()

#Variáveis de decisão
x = m.addVars(origens, destinos, vtype=gp.GRB.BINARY)
u = m.addVars(origens[1:], vtype=gp.GRB.INTEGER, ub=qtd_pontos - 1)

#Função Objetivo
m.setObjective(x.prod(custos), sense=gp.GRB.MINIMIZE)

#Restrições que garantem que cada ponto será origem exatamente uma vez
c1 = m.addConstrs(
    gp.quicksum(x[i, j] for j in destinos if i != j) == 1
    for i in origens)

#Restrições que garantem que cada ponto será destino exatamente uma vez
c2 = m.addConstrs(
    gp.quicksum(x[i, j] for i in origens if i != j)  == 1
    for j in destinos)

#Restrições de eliminação de subrotas
c3 = m.addConstrs(
    u[i] - u[j] + qtd_pontos * x[i, j] <= qtd_pontos - 1
    for i in origens[1:] for j in destinos[1:] if i != j)
```

Fonte: a autora (2023)

O modelo é então inicializado, conforme apresentado na Figura 15.

Figura 13 - Execução

```
#Executa o modelo
m.optimize()
```

Fonte: a autora (2023)

4.5 Análise dos Resultados

Realizando todo o passo a passo anterior, e considerando somente a restrição relacionada com a última corrida, chegou-se ao resultado de 61878,4km. Isso representa uma economia de 70286,32km, ou 53,18% dos 132164,72km que a categoria irá percorrer ao longo de toda a temporada 2023. Foram explorados 4923 nós em aproximadamente 6 segundos. A Figura 14 apresenta o resultado obtido.

Figura 14 - Primeiro resultado

```
Explored 4923 nodes (41055 simplex iterations) in 6.19 seconds (1.89 work units)
Thread count was 2 (of 2 available processors)

Solution count 10: 61878.4 61995.5 62031.2 ... 66030.6
```

Fonte: a autora (2023)

A ordem das corridas é apresentada na Figura 15.

Figura 15 - Ordem das corridas no primeiro resultado

```
[14] #Constrói o vetor com o circuito
     circuito = [1]
     anterior = 1
     for ponto in range(qtd_pontos):
       for j in destinos:
         if round(x[anterior, j].x) == 1:
           circuito.append(j)
           anterior = j
           break
```

```
#Imprime o circuito
print(circuito)

[1, 2, 12, 10, 6, 15, 7, 8, 13, 14, 11, 9, 22, 19, 20, 5, 21, 3, 16, 17, 4, 18, 23, 24, 1]
```

Fonte: a autora (2023)

A ordem presente no vetor apresentado na Figura 15, substituindo o número pelos países em que os autódromos estão sediados, é a seguinte: Bahrein, Arábia Saudita, Hungria, Áustria, Itália (Ímola), Itália (Monza), Mônaco, Espanha, Bélgica, Holanda, Reino Unido, Canadá, Estados Unidos (Las Vegas), Estados Unidos (Austin), México, Estados Unidos (Miami), Brasil, Austrália, Singapura, Japão, Azerbaijão, Catar, Emirados Árabes Unidos. A Figura 16 apresenta o resultado obtido considerando a restrição de não poderem existir corridas seguidas no mesmo país.

Foi realizada uma segunda simulação, agora levando em conta a restrição de corridas no mesmo país não poderem ser seguidas uma da outra. O resultado está presente na figura abaixo.

Figura 16 - Segundo Resultado

```
Explored 770 nodes (6575 simplex iterations) in 1.73 seconds (0.67 work units)
Thread count was 2 (of 2 available processors)

Solution count 9: 63333.4 67920.1 70617.4 ... 1.64317e+06

Optimal solution found (tolerance 1.00e-04)
Best objective 6.333338000000e+04, best bound 6.333338000000e+04, gap 0.0000%
```

Fonte: a autora (2023)

Foram explorados 770 nós em aproximadamente 2 segundos. O resultado é igual a 63333,4km, o que representa uma economia de 68831,32km com o deslocamento total original ou, em termos percentuais, 50,08%. Se comparado com o resultado anterior, que desconsiderava a restrição de corridas no mesmo país, o aumento no deslocamento foi igual a 6952,92km. Esse aumento era esperado, uma vez que quanto maiores as restrições em um problema de minimização, maior vai ser o valor da sua função objetivo. O vetor com a ordem das corridas é apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Ordem das corridas no segundo caso

```
#Imprime o circuito
print(circuito)

[1, 18, 2, 4, 12, 10, 6, 7, 15, 13, 14, 11, 8, 21, 5, 9, 19, 20, 22, 17, 3, 16, 23, 24, 1]
```

Fonte: a autora (2023)

Novamente, substituindo o número pelos países em que o autódromo está sediado, a sequência fica igual a: Bahrein, Catar, Arábia Saudita, Azerbaijão, Hungria, Áustria, Itália (Ímola), Mônaco, Itália (Monza), Bélgica, Holanda, Inglaterra, Espanha, Brasil, Estados Unidos (Miami), Canadá, Estados Unidos (Austin), México, Estados Unidos (Las Vegas), Japão, Austrália, Singapura e Abu Dhabi.

5 CONCLUSÃO

Com a grande diferença entre a distância real a ser percorrida e as duas distâncias geradas pelo algoritmo, prova-se que o calendário da temporada 2023 da Fórmula 1 não é o melhor possível.

Os motivos pelos quais isso acontece são diversos e não conhecidos pelo público. Caso a primeira ou a segunda sequências fossem seguidas, além do resultado direto de redução de deslocamento, resultados indiretos como menor rotatividade de funcionários – sejam os que trabalham diretamente nos *boxes* das equipes, sejam os que trabalham nas fábricas, menor insatisfação dos pilotos – alguns já vieram a público reclamar do calendário extenso e cansativo – e redução do orçamento – assunto amplamente discutido na temporada 2022, com a possibilidade de uma das equipes ter estourado o teto orçamentário – poderiam ser sentidos.

Uma outra consequência em se ter um calendário mais enxuto é a diminuição da emissão de gases poluentes. Grande parte do CO_2 emitido pela F1 não vem de seus carros, mas sim de todo o aparato utilizado na sua logística de transportes. O "regionalismo", que seria a concentração de corridas no mesmo continente em datas próximas, foi atingido e colaboraria para a meta da categoria em se tornar neutra na emissão de carbono até 2030.

Neste trabalho, foram tratadas apenas duas restrições do mundo real – sem corridas seguidas no mesmo país e a corrida que paga uma taxa extra para ser encerramento, mas existem outras que, apesar de não serem declaradas explicitamente, são seguidas temporada após temporada. Um exemplo é o tradicional Grande Prêmio de Mônaco ocorrendo no último final de semana de Maio e o Grande Prêmio do Canadá ocorrendo em junho. O primeiro caso se deve por conta do turismo no Principado e o segundo devido às questões climáticas. Montreal, cidade que sedia o circuito, possui uma peculiaridade com o clima: faz muito frio a partir de julho, o que impossibilitaria a corrida ser posterior a esse período.

Ainda consta questões religiosas. Até a temporada 2020 – antes de ser postergado o seu início devido a pandemia da COVID-19 – o Grande Prêmio da Austrália costumava ser a abertura da temporada. Isso mudou para as temporadas 2021 e 2022. O Grande Prêmio do Bahrein é a nova abertura e foi seguido pelo "GP da Arábia Saudita". Esse início no Oriente Médio se deve ao mês do Ramadã, mês sagrado para os muçulmanos, grande maioria dos habitantes nos países citados. Uma sugestão para trabalhos futuros que sigam a mesma temática, é considerar essa restrição do mês sagrado e as outras que já foram citadas nesta conclusão. Nesse trabalho, por restrições de ordem computacional e limitação quanto ao tempo de desenvolvimento, não foi possível.

6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L**. Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para Análise de Decisões**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

ARENALES, M., [et al.]. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2015.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial**, 5ª edição. Porto Alegre: Editora Bookman, 2006.

BAPTISTA, Joyce *et al*. **APLICAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA MAXIMIZAÇÃO DE LUCRO EM UMA EMPRESA DE TRANSPORTES DE CARGAS**. Revista Interface Tecnológica, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 771-783, 30 jul. 2020. Interface Tecnológica. http://dx.doi.org/10.31510/infa.v17i1.838.

BAUER, M. W.; GASKELL, G.; ALLUM, N. C. **Qualidade, quantidade e interesses do conhecimento**. *In:* BAUER, M. W.; GASKELL, G. (Orgs.) Pesquisa Qualitativa com textos, imagem e som: um manual prático. Petrópolis: Vozes, 2008.

BELFIORE, P.; FÁVERO, L. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia**; Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BERTAGLIA, PAULO R.. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.

BOAVENTURA, E. M. **Metodologia da Pesquisa: monografia, dissertação e tese**. São Paulo: Atlas, 2004.

BRAGA, Edgar Augusto Silva. **Modelagem e otimização do problema do caixeiro viajante com restrições de tempo, distância e confiabilidade via algoritmos genéricos**. 2007. 64 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

CAIXETA-FILHO, J. V. **Pesquisa Operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**. 2ª Edição. São Paulo: Atlas, 2009.

CALHEIROS, Z. S. A. **O problema do caixeiro viajante com passageiros**. 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Sistemas e Computação, Departamento de Informática e Matemática Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2017.

CARVALHO, Samuel de Oliveira. **Aplicação do filtro de Kalman a um sistema de posicionamento de veículo aquático.** 2013. 79 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CERASOLI, Julianne. **Como mês sagrado dos muçulmanos virou dor de cabeça para a Fórmula 1**. Uol.com.br, 2023. Disponível em: https://www.uol.com.br/esporte/colunas/pole-position/2023/01/12/como-mes-sagrado-dos-muculmanos-virou-dor-de-cabeca-para-a-formula-1.htm. Acesso em: 19 de janeiro de 2023.

CERASOLI, Julianne. **De mês sagrado a furacões: Por que a F1 sofre para organizar o calendário.** Uol.com.br, 2023. Disponível em: https://www.uol.com.br/esporte/colunas/pole-position/2022/09/21/de-mes-sagrado-a-furacoes-por-que-a-f1-sofre-para-organizar-seu-calendario.htm. Acesso em: 19 de janeiro de 2023.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para a redução de custos e melhoria dos serviços.** 4ª ed. Cengage Learning, 2016.

COSTA, Abner de Almeida. **Estudo do Problema do Caixeiro Viajante por meio de solvers**. 2022. 67 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Física, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2020.

CUNHA, C. B. da. (2000). **Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais**. TRANSPORTES, 8(2). https://doi.org/10.14295/transportes.v8i2.188.

DA COSTA, Lucas et al. **ROTEIRIZAÇÃO DE ENTREGAS NA ZONA LESTE DA CIDADE DE SÃO PAULO**. COMPARAÇÃO ENTRE SOFTWARE PAGO E LIVRE. South American Development Society Journal, [S.l.], v. 2, n. 5, p. 75 - 86, mar. 2017. ISSN 2446-5763. Disponível em: <http://www.sadsj.org/index.php/revista/article/view/40>. Acesso em: 16 fev. 2022.

DANTZIG, G. B.; RAMSER, J. H. **The Truck Dispatching Problem**. Management Science, v. 6, n. 1, p.80-91, out. 1959.

DANTZIG, G. B.; FULKERSON, R.; JOHNSON, S. **Solution of a Large-Scale Traveling-Salesman Problem.** Journal of the Operations Research Society of America, USA, v.2, n.4, p.393-410, 1954.

Ed Pegg Jr. **The Icosian Game**, Revisited. Some extensions of Hamiltonian tours are explored., The Mathematica Journal 11:3, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, C. F. S.; RIBEIRO, P. C. C. **Gestão da Cadeia de Suprimentos integrada à Tecnologia da Informação**. São Paulo : Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOLDBARG, M. **Grafos: Conceitos, algoritmos e aplicações**. [S. l.]: Elsevier, 2012. ISBN 9788535257168.

GOLDEN, B.; BALL, M.; BODIN, L. **Current and future research directions in network optimization**. Computers & Operations Research, v.8, n.2, p. 71-81, 1981.

GOOGLE. **Google Colab,** 2023. Perguntas Frequentes. Disponível em: https://research.google.com/colaboratory/intl/pt-BR/faq.html. Acesso em: 20 de fevereiro de 2023.

GRAEFF, César Augusto. **Solução paralela para um sistema de roteirização utilizando o problema do caixeiro viajante**. 2020. 56 f. TCC (Graduação) – Curso de Ciência da Computação, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2020.

GUROBI OPTIMIZATION. **Python**, 2023. Documentation. Disponível em: https://www.gurobi.com/documentation/9.5/quickstart_mac/cs_python.html. Acesso em: 20 de fevereiro de 2023.

HIJMANS, Robert J.; WILLIAMS, Ed; VENNES, Chris. **The geosphere package**, v. 1, p. 2-4, 2010. Disponível em: https://cran.r-project.org/web/packages/geosphere/index.html. Acesso em 06 de agosto de 2022.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. Ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

LAPORTE, G.; M, GENDREAU; J.Y. P. F. SEMET. **Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem**, International Transactions in Operational Research, v.7, n4/5, pp. 285-300, 2002.

LAPORTE, G. **Fifty Years of Vehicle Routing**. Transportation Science, v. 43, n. 4, p.408-416, nov. 2009.

LONGO, Guilherme. **Fórmula 1 confirma que não substituirá China e calendário de 2023 terá 23 GPs**. Motorsport.com, 2023. Disponível em: https://motorsport.uol.com.br/f1/news/f1-confirma-que-nao-substituira-china-e-calendario-de-2023-tera-23-gps/10421769/. Acesso em: 19 de Janeiro de 2023.

LOPES, Rafael. **O fator Alonso**. Blog Voando Baixo – Globoesporte.com, 2017. Disponível em: https://globoesporte.globo.com/blogs/especial-blog/voando-baixo/post/o-fator-alonso.html. Acesso em: 19 de Janeiro de 2023.

MATAI, R.; SINGH, S. P.; MITTAL, M. L. **Travelling salesman problem: An overview of applications, formulations and solution approaches**. *Traveling Salesman Problem, Theory and Applications,* In Tech, Croatia, p. 1-24, 2010.

MENDONÇA, Patrícia Fernandes; SILVA, Fausto Pinheiro da; KESTRING, Franciele Buss Frescki. **Um estudo sobre algoritmos para roteirização**. Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, [S.I.], v. 8, n. 18, 23p, 2017.

MUSSI, Ricardo Franklin de Freitas *et al*. **Pesquisa Quantitativa e/ou Qualitativa: distanciamentos, aproximações e possibilidades**. Revista Sustinere, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 414-430, jul. 2019.

NETTO, P.; JURKIEWICZ, S. **Grafos – Introdução e Prática**. [S. I.]: EDGARD BLUCHER, 2017. ISBN 9788521204732.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**.3° Ed. Rio de Janeiro. Elsevier. 2007.

OLIVEIRA, Flavio Bandeira de. **A Fórmula 1 como fenômeno midiático esportivo: análise sobre o canal Sky Sports F1**. Revista Científica Digital: Jornalismo, Publicidade e Turismo, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 49-62, jun. 2020.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2ª Ed., Novo Hamburgo – RS, Associação Pró-Ensino Superior em Novo Hamburgo – ASPEUR Universidade Feevale, 2013.

PITZ, Marcus Vinícius. **Mapa virtual 3D da FURB na plataforma Android**. 2015. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciência da Computação, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional de Blumenau (Furb), Blumenau, 2015.

QUINTELA, Guilherme Pedrosa. **A estratégia de interação organizacional da Fórmula 1 em tempos de COVID-19**. *In:* XV Congresso Brasileiro Científico de

Comunicação Organizacional e de Relações Públicas, 2021. São Paulo. Disponível em: http://portal.abrapcorp2.org.br/wp-content/uploads/2021/07/sff-100.pdf. Acesso em: 19 de janeiro de 2023.

RIBEIRO JÚNIOR, José Geraldo et al. **Sistema para monitoramento descentralizado de trânsito baseado em redes veiculares infraestruturadas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 31., 2013, Brasília. Anais [...]. Brasília: [s. n.], 2013.

SAKAI, Jurandir. **A importância da logística para a competitividade das empresas**: estudo de caso na indústria do pólo de camaçari.. 2005. 225 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Núcleo de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

SANTOS, Haroldo G.; TOFFOLO, Túlio A. M. **Tutorial de desenvolvimento de métodos de programação linear inteira mista em python usando o pacote python-MIP**. Pesquisa Operacional Para o Desenvolvimento, S. I., v. 11, n. 3, p. 127-138, 2019.

SILVA, Aneirson Francisco da. **Pesquisa Operacional: desenvolvimento e otimização de modelos matemáticos por meio da linguagem gams**. São Paulo: Unesp, 2013. 126p.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3ª Ed., Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SILVA, L.R.F. *et al*. A Influência da Motivação na Produtividade do Trabalho na Representação Comercial. **Revista de Administração Imed**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 241-249, 30 dez. 2015. Complexo de Ensino Superior Meridional S.A.. http://dx.doi.org/10.18256/2237-7956/raimed.v5n3p241-249.

SILVA, William Lopes da. **Black Glasses: Assistente para deficientes visuais via geolocalização**. 2019. 1 v. TCC (Graduação) - Curso de Bacharelado em Ciência da

Computação, Departamento de Sistemas e Comunicação, Universidade Regional de Blumenau (Furb), Blumenau, 2019.

SINNOTT, Roger W. Virtues of the Haversine. **Sky Telesc**. v. 68, p. 159, 1984. Disponível em: <https://inspirehep.net/literature/889399>. Acesso em 06 de agosto de 2022.

SOUZA, Natália Viega de**. "No, Michael, no"**: O Grande Prêmio de Abu Dhabi de Fórmula 1 como acontecimento. 2022. 75 f. TCC (Graduação) – Curso de Jornalismo, Comunicação e Criatividade, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó, 2022.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional: uma visão geral**. 8ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

VAN UFFORD, Nicolas Quarles. Vettel fears for exhaustion within teams in record-breaking 2021 schedule. **GP Fans**, 2020. Disponível em: < https://www.gpfans.com/en/f1-news/58665/vettel-fears-for-exhaustion-within-teams-in-record-breaking-2021-schedule/ >. Acesso em: 06 de agosto de 2022.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.