

## Desenvolvimento de uma rota de monotrilho entre o Aeroporto Afonso Pena e Curitiba usando o problema de caminho mínimo

Marcelo Carneiro Gonçalves, Caroline Costa e Silva, Bruna Souza Junqueira, Júlia Fernandes de Campos, Maria Fernanda de Campos Salik

**Resumo:** Atualmente, o Aeroporto Afonso Pena, localizado na região metropolitana de São José dos Pinhais, oferece capacidade para receber cerca de 14,8 milhões de passageiros por ano. Com um fluxo de passageiros que tem aumentado cada vez mais, verifica-se a necessidade de se atentar à questão da mobilidade entre o aeroporto e a cidade de Curitiba. No momento, as opções mais viáveis para se chegar à capital paranaense são pegar o ônibus executivo, que passa pelo centro e pontos estratégicos da cidade, e transportes particulares, que podem envolver o uso do carro próprio, uso dos aplicativos de transporte e taxi. Existe ainda a opção de pegar o ônibus do serviço de transporte público, uma opção mais barata mas que deixa a desejar em questão de conforto, distância e tempo de trajeto. Sendo assim, o objetivo deste artigo é propor o desenvolvimento de uma linha de monotrilho que interligue o Aeroporto Afonso Pena ao centro de Curitiba usando o problema de caminho mínimo, a fim de encontrar o melhor trajeto para posterior implementação. Para a coleta de dados, utilizou-se a ferramenta do *Google Maps* que forneceu as distâncias aproximadas entre os pontos pré-definidos e também o *Software Lingo*, que forneceu a solução ótima do problema matemático. Ao final, discutiu-se os resultados considerando sua viabilidade econômica e social.

**Palavras chave:** Monotrilho, Caminho, Mínimo, Mobilidade, Transporte

## Development of a monorail route between Afonso Pena Airport and Curitiba using shortest path problem

**Abstract:** Currently, Afonso Pena Airport, located in the metropolitan region of São José dos Pinhais, offers capacity to receive about 14.8 million passengers per year. With a growing passenger flow, there is a need to address the issue of mobility between the airport and the city of Curitiba. Now, the most viable options to get to the capital are to take the executive bus, which goes through the center and strategic points of the city, and private transport, which may involve the use of their own car, use of transportation apps and taxi. There is also the option of taking the bus from the public transport service, a cheaper option that leaves something to be desired in terms of comfort, distance and travel time. Therefore, the objective of this article is to propose the development of a monorail line that connects Afonso Pena Airport to downtown Curitiba using the shortest path problem, in order to find the best route for further implementation. For data collection, has been used the *Google Maps* tool that provided the approximate distances between the predefined points and also the *Lingo Software*, which provided the optimal solution of the mathematical problem. At the end, the results were discussed considering their economic and social viability.

**Key-words:** Monorail, Route, Shortest, Mobility, Transportation

### 1. Introdução

Os problemas de transporte na região de Curitiba são responsáveis por uma evasão de 14% ao ano dos passageiros, de acordo com o Sindicato das Empresas de Ônibus de Curitiba e Região Metropolitana. A falta de conforto, aliado a demora dos transportes públicos e superlotações são as grandes reclamações dos usuários das linhas públicas.

A implantação do monotrilho (Figura 1), que é uma ferrovia constituída por um único carril/trilho, é de extrema relevância para a resolução dos problemas de mobilidade da capital paranaense, já que sua capacidade de transporte situa-se na faixa de 25.000 a 35.000 passageiros / hora em cada sentido. Além disso, é uma solução viável e de menor custo para a resolução dos problemas relacionados ao transporte na região.



Figura 1 - Carril de monotrilho da linha prata na cidade de São Paulo. Fonte: Diário do Transporte, 2019.

Atualmente, o Aeroporto de Curitiba fica situado em São José dos Pinhais, na região metropolitana, tendo capacidade para receber 14,8 milhões de passageiros por ano. Só entre Janeiro à Abril deste ano, o terminal registrou um fluxo de 2.116.171 passageiros que passaram pelas áreas de embarque e desembarque, um aumento de 3,1% em relação ao mesmo período no ano passado e a expectativa é que esse número aumente até o final do ano.

Para chegar do centro de Curitiba até o Aeroporto e vice versa, os passageiros dispõem de 2 principais opções para se deslocar: por meio da linha de ônibus executivo, que interliga o aeroporto aos principais pontos da cidade como Rodoferroviária, Rua 24 Horas, Shopping Estação, Centro etc, além dos meios de transporte particular, que podem ser carro particular, táxi ou mesmo aplicativos de transporte. Antigamente, os usuários também contavam com uma terceira opção: uma linha direta de ônibus de transporte coletivo que interligava o Aeroporto ao Centro Cívico de Curitiba, em um trajeto que durava cerca de 40 à 50 minutos, sendo essa a opção mais barata até encerrar sua operação em 2015, com o término das integrações entre os ônibus de Curitiba administrados pela Urbs e os ônibus metropolitanos, administrados pela COMEC e METRO, no caso de São José dos Pinhais. Dessa maneira, atualmente os passageiros necessitam ir até o terminal do Boqueirão em Curitiba e de lá pegar a linha “Boqueirão-Aeroporto”, que ainda passa pelo Terminal de São José, bastante movimentado, para depois ir até o Aeroporto. O trajeto leva em torno de 20 à 40 minutos dependendo do trânsito, além do tempo adicional para chegar até o terminal do Boqueirão, que do centro de Curitiba leva em torno de 40 minutos à 1 hora. Ao final, tem-se um tempo de trajeto que leva em média 1 hora, sem considerar atrasos ou tempo de integração.

Considerando todo o contexto, fica claro que a decisão de tirar a linha direta que interligava o Aeroporto ao Centro de Curitiba foi um grande erro. Passageiros precisam pegar 2 ônibus para chegar ao seu destino e o tempo também não ajuda. Sendo assim, pensou-se em encontrar uma nova proposta de transporte que interligasse o Aeroporto ao Centro de maneira mais rápida e eficiente, sem ter que recorrer a possibilidade de reativar a antiga linha direta, que, de qualquer forma, também mostrava sinais de que estava se tornando ineficiente.

Sendo assim, objetivo deste trabalho é desenvolver uma linha de monotrilho que tenha como ponto de origem o Aeroporto Afonso Pena, em São José dos Pinhais, e como destino final o Teatro Guaíra, no centro de Curitiba, utilizando o problema de caminho mínimo para encontrar o melhor trajeto. Ao final, será discutido a solução ótima encontrada considerando aspectos ligados à viabilidade econômica e social com o intuito de despertar o interesse governamental para que o projeto venha a ser implementado.

## 2. Referencial Teórico

Neste tópico serão abordados os principais pontos teóricos ligados à Pesquisa Operacional que auxiliarão no desenvolvimento do estudo de caso.

### 2.1 Problemas de Programação Linear na Pesquisa Operacional

Com uma abordagem científica, a Pesquisa Operacional busca analisar e melhorar as decisões de um problema, ou seja, busca soluções de problemas que podem ser representados por modelos matemáticos. Os problemas de Pesquisa Operacional com enfoque em Programação Linear são processos eficientes de distribuição de recursos e referem-se a recursos limitados entre as atividades que competem, a fim de atender a um determinado objetivo, seja maximizar ou minimizar o escopo do problema.

A fim de desenvolver a construção do modelo de Programação Linear, Ravindran (et al., 1987) desenvolveu 3 passos:

- a) Passo 01: Identificar as variáveis desconhecidas;
- b) Passo 02: Listar todas as restrições e representá-las em equações;
- c) Passo 03: Identificar o objetivo/critério do problema (minimizar ou maximizar).

Andrade (2004) afirma que a Programação Linear é uma das técnicas de muito eficácia na administração dos problemas e possui um vasto campo de aplicação, envolvendo: organização de transportes e estoques, estudos de fluxos de caixa, investimentos e problemas relacionados à produção. Dentre as possíveis áreas de aplicação da Pesquisa Operacional, o trabalho atual irá desenvolver a análise com enfoque no Problema de Transporte, no qual tem por objetivo minimizar os custos do transporte necessário para abastecer as demandas com base nos fornecedores.

Segundo Lachtermacher (2007), quando se deseja traçar o menor caminho ou encontrar uma rota com menor distância entre alguns pontos, tem-se um Problema de Caminho mais Curto. Para este problema sempre haverá um ponto de início (Origem) e um ponto final (Destino) e entre eles haverá pontos nos quais o trajeto também irá percorrer (Transbordos). Todos estes pontos são conectados por um grafo, que de acordo com Lucchesi (1979), é um conjunto de vértices representados por pontos ligados às arestas representadas por linhas, que fazem as ligações e esse conjunto pode ser representado por diagramas.

### 2.2 Problema de Caminho Mínimo

O Caminho mais Curto pode ser considerado um tipo especial de problema de Programação Linear. Muitas aplicações desse problema envolve minimizar a distância percorrida de uma origem ao destino, não necessariamente envolvendo uma viagem. Os arcos (ou conexão) podem apresentar atividades distintas, logo escolher o caminho necessário pela rede representa optar pela melhor sequência de atividades.

Existem três categorias de aplicações e elas podem se manifestar em uma única aplicação.

- a) Minimizar a distância total percorrida;
- b) Minimizar o custo total de uma sequência de atividades;
- c) Minimizar o tempo total de uma sequência de atividades.

De acordo com Hillier (2013) para encontrar o caminho mínimo de uma aplicação, deve-se considerar uma rede conectada e não direcionada com dois nós essenciais chamados origem e destino. Os arcos não direcionados devem ser uma distância não negativa.

A principal função do algoritmo é se espalhar por todas as direções a partir da origem, de acordo com Lieberman (2013), o problema será solucionado quando o nó destino for alcançado. Para chegar a esse nó é identificado sucessivamente o caminho mais curto para cada um dos nós da rede na ordem crescente das distâncias partindo do nó origem.

### 2.3 Transporte Público Coletivo

De acordo com FERRAZ; TORRES (2004), a palavra Modo caracteriza a maneira como o transporte é realizado. Para este há várias categorias, como transporte coletivo, realizados através de transportes com rodas, como o ônibus. E também através do transporte realizado sobre trilho, como Metrô e Monotrilho. Todos estes meios de transportes tem a finalidade de atender à demanda da mobilidade urbana, no qual Vargas (2008) afirma que é "(...) a capacidade de deslocamento de pessoas e bens no espaço urbano para a realização de suas atividades cotidianas (trabalho, abastecimento, educação, saúde, cultura, recreação e lazer), num tempo considerado ideal, de modo confortável e seguro." Segundo Campos (2013) alguns tópicos não podem ser separados e sim, integrados, como a incorporação da utilização do solo urbano, mobilidade, transporte, sustentabilidade e acessibilidade, são peças fundamental para gerar melhoria da qualidade de vida das cidades.

Em Curitiba, o sistema de transporte público mais utilizado é o ônibus, sua implantação começou nos anos 1970, visando menos poluição, menos automóveis nas ruas e trânsito mais organizado. No qual foi considerada cidade modelo do transporte público, tanto nacional quanto internacionalmente, Curitiba foi classificada a capital com mais veículos por habitantes (EXAME, 2014). O arquiteto e urbanista Jaime Lerner responsável pela implementação do Sistema Integrado de Transporte de Massa, na Capital Paranaense, declara que "Em termos de mobilidade, toda cidade precisa tirar o melhor proveito de cada meio de transporte que possui, seja na superfície ou no subsolo. A chave reside em não ter sistemas concorrentes no mesmo espaço e em usar tudo o que a cidade possui da maneira mais eficaz."

### 2.4 Monotrilho

Nas cidades brasileiras, a noção de sustentabilidade ambiental com enfoque no processo de planejamento urbano, vem sendo discutido principalmente no que se refere a mobilidade urbana. Segundo Zanotelli e Guedes (2007) o sistema do monotrilho possui diversos benefícios ambientais, dentre eles a sua implantação na qual usa como recurso energético a energia elétrica evitando assim a queima de combustíveis fósseis, o que contribui para a redução da emissão de gás carbônico no meio ambiente.

Segundo Monorail Society, o monotrilho caracteriza-se por ser um veículo no qual se desloca por um único trilho e serve para o transporte de passageiros. O sistema funciona por tração elétrica e circula sobre vigas de concreto, nas quais são apoiadas por pilares, que possuem em média de 12 a 15 metros e elevam a via. O sistema possui diversas qualidades, como a redução do espaço viário e o não cruzamento com outros modais de transporte, nos quais auxiliam a evitar acidentes e otimizar o tempo de transporte. HERDY (et al., 2012), afirma que com a

utilização de material mais leve e com a estrutura física do sistema impacta na redução dos custos da construção. Por fim, Souza (2012) conclui que o sistema pode contribuir significativamente para a melhoria da mobilidade e qualidade de vida da população onde será implementado.

### 3. Metodologia

Para a coleta de dados, primeiramente realizou-se um pequeno estudo de onde alocar os principais pontos que o monotrilho poderia passar, sendo a rodoferroviária um ponto de extrema importância, pois seria um diferencial o monotrilho ser capaz de interligar o Aeroporto também à rodoferroviária. Para os pontos anexos levou-se em consideração duas principais vias de acesso ao aeroporto, que no caso foram Avenida Comendador Franco (Avenida das Torres) e Avenida Marechal Floriano Peixoto (Boqueirão). Considerando os critérios, chegamos aos seguintes pontos e fluxos de sentido, conforme mostra a figura 2.

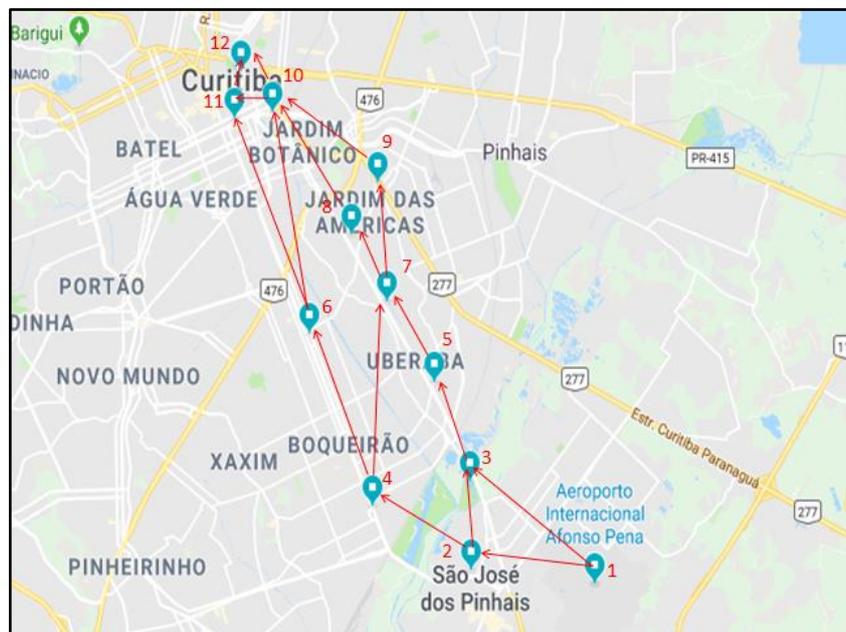


Figura 2 - Possíveis pontos que poderão ser ligados pelo trajeto mínimo. Fonte: Os autores, 2019

Para saber as distâncias reais entre os pontos, utilizou-se a ferramenta *Google Maps* para medir a real distância em quilômetros entre os pontos a fim de obter os custos relacionados à cada arco. Ao final, obteve-se o seguinte grafo (figura 3) resultante do problema descrito.

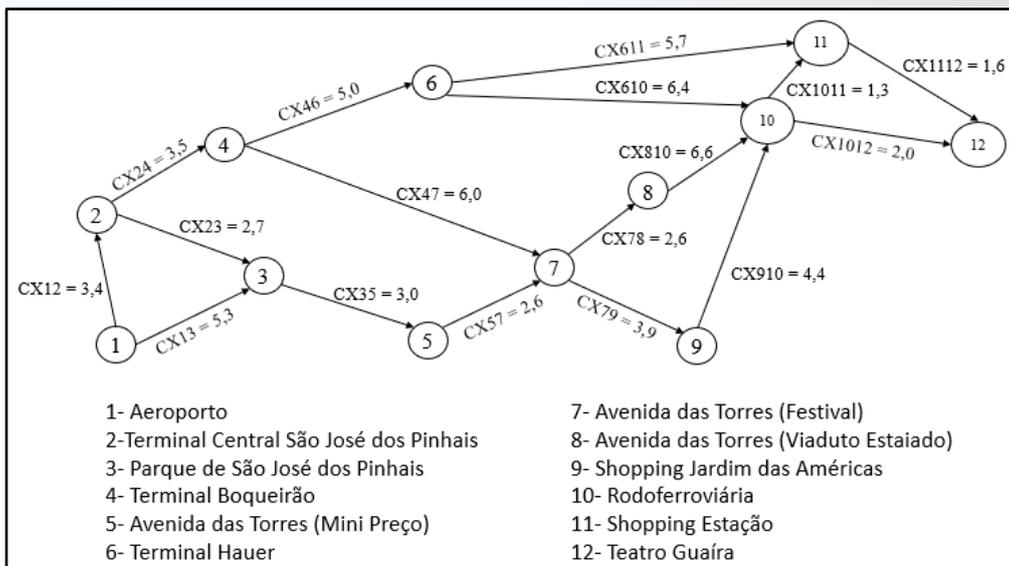


Figura 3 - Grafo com possíveis resultados do problema de caminho mínimo do monotrilho. Fonte: Os autores, 2019

É importante ressaltar que em problemas de caminho mínimo, nem todos os nós devem necessariamente ser utilizados. O critério para saber se o nó pertence ou não à solução será visto no próximo tópico a seguir.

#### 4. Modelo Matemático

Como já foi citado anteriormente no referencial teórico, o problema de caminho mínimo é um caso específico do problema de fluxo em redes, que busca encontrar o caminho mínimo entre uma origem e um destino. O modelo possui ainda três hipóteses a serem consideradas:

- a) O problema é formulado como o transporte de fluxo unitário do nó 1 até o nó m;
- b) O fluxo em cada arco deve ser considerado da seguinte maneira:  
*se  $X_{ij} = 1$ , faz parte do caminho*  
*se  $X_{ij} = 0$ , não faz parte do caminho*
- c) Existe somente 1 nó de oferta (origem) e 1 nó de demanda (destino), o resto são considerados nós de transbordo.

A formulação do modelo matemático do problema de caminho mínimo levará em consideração dois aspectos principais, sendo eles a função objetivo e as restrições que serão base para a resolução do problema.

##### 4.1 Função Objetivo

A função objetivo de um problema de caminho mínimo segue o mesmo formato e lógica dos problemas de fluxo em redes, de transportes e designação. Ela é expressa da seguinte forma:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} \cdot X_{ij}$$

Para o problema do monotrilho, a função objetivo ficará da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} \min Z = & 3,4 \cdot X_{12} + 5,3 \cdot X_{13} + 2,7 \cdot X_{23} + 3,5 \cdot X_{24} + 3,0 \cdot X_{35} + 5,0 \cdot X_{46} + \\ & 6,4 \cdot X_{47} + \\ & 2,6 \cdot X_{57} + 6,4 \cdot X_{610} + 5,7 \cdot X_{611} + 2,6 \cdot X_{78} + 3,9 \cdot X_{79} + 6,6 \cdot X_{810} + 4,4 \cdot X_{910} \\ & + \end{aligned}$$

$$1,3 \cdot X_{1011} + 2,0 \cdot X_{1012} + 1,6 \cdot X_{1112}$$

Assim, temos a primeira parte do modelo matemático capaz de gerar a solução. A segunda parte engloba as restrições no modelo.

#### 4.2 Restrições

Para as restrições do problema, considera-se a seguinte fórmula:

$$s. a \quad \sum_{j=1}^m - \sum_{k=1}^m X_{ki} = b_i, \text{ se } i = 1, b = 1 \\ \text{se } i \neq 1, i \neq m, b = 0 \\ \text{se } i = n, b = -1 \\ X_{ij} \geq 0$$

Sendo assim, para as restrições do problema do monotrilho, teremos:

$$s. a \quad X_{12} + X_{13} = 1 \\ -X_{12} + X_{23} + X_{24} = 0 \\ -X_{13} - X_{23} + X_{35} = 0 \\ -X_{24} + X_{46} + X_{47} = 0 \\ -X_{35} + X_{57} = 0 \\ -X_{46} + X_{610} + X_{611} = 0 \\ -X_{47} - X_{57} + X_{78} + X_{79} = 0 \\ -X_{78} + X_{810} = 0 \\ -X_{79} + X_{910} = 0 \\ -X_{610} - X_{810} - X_{910} + X_{1011} + X_{1012} = 0 \\ -X_{611} - X_{1011} + X_{1112} = 0 \\ -X_{1012} - X_{1112} = -1$$

$$X_{12}, X_{13}, X_{23}, X_{24}, X_{35}, X_{46}, X_{47}, X_{57}, X_{610}, X_{611}, X_{78}, X_{79}, X_{810}, X_{910}, X_{1011}, X_{1012}, X_{1112} \geq 0$$

Com a função objetivo e restrições definidas, seguimos para a obtenção da solução ótima, que será discutida no tópico a seguir.

#### 4.3 Solução Ótima

Para a obtenção da solução ótima, foi utilizado o *Software Lingo*, na qual inseriu-se os dados da função objetivo juntamente com as restrições e, assim, obteve-se a solução ótima para o problema, conforme a seguir:

$$C^* = \{(1,3), (3,5), (5,7), (7,9), (9,10), (10,12)\} \\ Z^* = 21,2 \text{ km}$$

Considerando o caminho mínimo obtido, concluímos que o trajeto do monotrilho passará no total por 6 estações, sendo a primeira estação de origem o Aeroporto Afonso Pena, as de transbordo, Parque de São José dos Pinhais, Mini Preço Torres, Festival Torres, Shopping Jardim das Américas, Rodoferroviária e destino final, Teatro Guaíra. O trajeto terá ao todo 21,2 km e poderá reduzir o tempo gasto em até 50% comparado ao sistema atual.

### 5. Estudo da viabilidade econômica e social

No início do segundo semestre do ano de 2009, o jornal gazeta do povo noticiava o andamento dos primeiros trabalhos de estudo de engenharia e impacto ambiental para construção da primeira linha de metrô em Curitiba, que iria interligar o bairro CIC ao Santa Cândida. Além

das idas e vindas nas iniciativas que entusiasmaram os curitibanos, boa parte do capital investido trouxe diversos impactos aos cofres públicos. No fim o maior repasse de investimento que atingiu cerca de 1,8 bilhões, acabou cancelado com a suspensão do processo de licitação das obras.

Apesar do estudo de implantar linhas de metrô em Curitiba já tenha sido realizado diversas vezes, um grande fator que inviabiliza o projeto é a questão do custo de implantação, já que trata-se de uma infraestrutura cara e que no momento não é considerado vantajoso para solucionar os problemas de mobilidade na capital paranaense.

Em 2012, o atual prefeito de Curitiba Rafael Greca disse que defendia a construção do sistema de monotrilho na cidade em substituição ao projeto de metrô convencional. Segundo ele, o projeto de monotrilho aprovado para a construção da linha 2, atual linha prata, inaugurada recentemente em São Paulo, traria economia aos cofres públicos e muito mais funcionalidade para o transporte coletivo curitibano.

É neste contexto que o projeto apresentado neste trabalho começa a dar sinais de ter grandes chances de dar certo e ser aprovado pelo governo. Inicia-se a discussão de sua viabilidade dando maior enfoque a questão de custos de infraestrutura e implantação, representado na Figura 4.

CARACTERÍSTICA	BRT (BUS RAPID TRANSIT) CORREDORES DE ÔNIBUS	VLT (VEÍCULO LEVE SOBRE TRILHOS)	MONOTRILHO	METRÔ
Custo médio de implantação (US\$/km)	15 a 40	20 a 50	40 a 70	80 a 120
Capacidade típica de transporte (mil passageiros/hora)	2 a 15	3 a 40	3 a 60	25 a 80
Velocidade média (km/h)	25 a 60	25 a 40	40 a 60	40 a 90
Ruído (db)	70 a 90	60 a 80	60 a 80	75 a 100
Conforto	Menor conforto (sofre com interferências de freadas e semáforos)	Conforto médio (sofre com a interferência de semáforos e trânsito)	Maior conforto (para somente em estações, menor tempo de trajeto, passageiro pode apreciar a paisagem)	Maior conforto (para somente em estações, menor tempo de trajeto)
Interferência no trânsito	Alta	Alta	Mínima (se elevado)	Mínimo (se subterrâneo)
Custo previsto em desapropriação	Elevado	Elevado	Baixo	Médio
Interferência durante construção	Elevada	Elevada	Média	Baixa
Capacidade de atrair usuários do transporte individual	Baixa	Média	Alta	Alta
Relação emissão de carbono/ passageiro transportado	Alta	Média	Baixa	Baixa

Figura 4: Comparativa das características técnicas dos principais sistemas de transporte público concorrentes do monotrilho. Fonte: OLIVEIRA, U. et al. 2010

Através da análise da Figura 4, é possível verificar que o custo para implantação no monotrilho, acaba sendo mais alto comparado com o BRT e o VLT, porém mais baixo que a implantação de um metrô, por exemplo. Entretanto, levando em consideração a capacidade de transportar passageiros, considerando o fator conforto, a interferência no trânsito no período de construção e a questão sustentável (emissão de carbono), é nítido que a opção que se torna economicamente viável, considerando todos os trade-off, é a implantação do monotrilho. O monotrilho garante maior conforto, mínima interferência no trânsito, possui alta capacidade de atrair novos usuário para utilização do transporte, além de ter baixa emissão de carbono, comparado ao BRT E VLT, e de apresentar um menor custo de implementação comparado ao metrô, que oferece os mesmos benefícios que o monotrilho. Portanto, a implantação do monotrilho na cidade de Curitiba, levando em consideração as questões econômicas e sociais, é viável.

## 6. Conclusão

O estudo da implementação do monotrilho, juntamente com descoberta do caminho mínimo que interligasse o aeroporto Afonso Pena até o Teatro Guaíra, no Centro da cidade, passando pela rodoferroviária, no qual foi possível aplicar os conhecimentos da Pesquisa Operacional. A solução ótima encontrada para o caminho mínimo do monotrilho, desde da saída da origem até a chegada ao destino, está representado pela Figura 5.

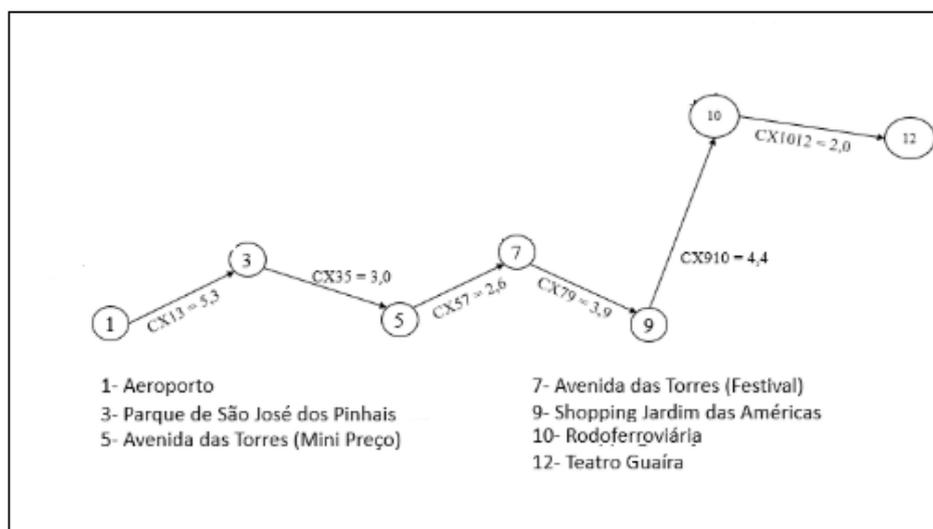


Figura 5 - Grafo resultante do problema de caminho mínimo do monotrilho. Fonte: Os autores, 2019

Com a análise do Grafo resultante tendo o percurso total de 21,2 km é possível otimizar o processo e reduzir o tempo total do percurso em 50%, sendo que o sistema irá operar em paralelo com sistemas de transporte atual. Segundo Zanotelli e Guedes (2007) o monotrilho é um meio de transporte no qual contribui para a redução da emissão de gás carbônico no meio ambiente. Sendo assim foi possível concluir que a implementação do monotrilho é viável na cidade de Curitiba, considerando as questões sociais e ambientais, apresentando maior custo benefício e otimização de percurso perante os outros transportes atuais.

## Referências

- ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para a análise de decisão**. 3.ed. -. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e científicos, 2004. p. 192.
- CAMPOS, V. B. G. **Planejamento de transportes: conceitos e modelos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.
- CBN Curitiba. **Afonso Pena registra aumento de 3,1% de passageiros**. Disponível em <<https://cbncuritiba.com/afonso-pena-registra-aumento-de-31-de-passageiros/>> Acesso em: 16 set. 2019.
- Curitiba: Prefeitura da Cidade. **Sistema de Transporte Coletivo de Curitiba**. Disponível em <<http://www.biocidade.curitiba.pr.gov.br/biocity/33.html>> - acesso em: 16 set. 2019.
- FERRAZ, A e TORRES I. **Transporte Público Urbano**. São Carlos, SP: RiMa, 2004.
- GARRIDES, M., SOUZA, P., NETO, L. **Transporte Público em Belo Horizonte: um estudo comparativo entre Metrô e Monotrilho**. Belo Horizonte, 2016.

G1: São Paulo. **Sistema de transporte de Curitiba é copiado por mais de 80 países.** Disponível em <<http://g1.globo.com/sao-paulo/respirar/noticia/2011/04/sistema-de-transporte-de-curitiba-e-copiado-por-mais-de-80-paises.html>> Acesso em: 16 set. 2019.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões: Modelagem em Excel.** 3° ed. Rio de Janeiro, 2007. p. 142 -144.

LERNER, Jaime. **Jaime Lerner Arquitetos Associados.** Disponível em: <<http://jaimelerner.com.br/en/associated-architects/>> Acesso em: 29 set. 2019.

HILLIER, F. S. LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional.** 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

OLIVEIRA, Uarlem José de Faria; et.al. **Monotrilho - Uma opção de transporte público para a região metropolitana da grande Vitória.** In: XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Bento Gonçalves, RS. p. 1272-1283.

PRATES, Marco. **Curitiba é a capital com mais carros por pessoas - veja ranking.** Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/brasil/curitiba-e-capital-com-mais-carros-por-pessoa-veja-ranking/>> Acesso em: 29 set. 2019.

RAVINDRAN, A., PHILLIPS, D.T. and SOLBERG, J.J. (1987) **Operations Research Principles & Practice.** 2nd Edition, John Wiley, New York.

SOUZA, Fabio de. **O uso da tecnologia de Monotrilho como alternativa de transporte urbano na região metropolitana de Goiânia. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial)** – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2012.

THE MONORAIL SOCIETY website. Disponível em: <<http://www.mono-rails.org>>. Acesso em: 27 set. 2019.

YANO, Célio. **O que aconteceu com o metrô de Curitiba 10 anos após o início dos trabalhos de implantação.** Disponível em <<https://www.gazetadopovo.com.br/parana/metro-curitiba-10-anos/>> Acesso em: 29 set. 2019.

ZATONELLI, T. P; GUEDES, N. L. S.. **Integração dos Meios de Transporte com Inserção de Monotrilho na Cidade de Vitória.** Concurso de monografias CBTU, São Paulo, 2007.