



## Estações como pólos de desenvolvimento

Fernando de Senna Bittencourt – Gerente Técnico GEPET  
Marina dos Santos Nascimento – estagiária de estatística  
Lilian de Sousa Pires - estagiária de estatística

## **Resumo:**

O trabalho apresenta um procedimento de avaliação das estações metroferroviárias como pólos promotores de desenvolvimento socioeconômico. Apresenta também um estudo de caso com as estações do metrô de Belo Horizonte da Companhia Brasileira de Trens Urbanos – CBTU.

## **Planejamento de Transporte e Planejamento Urbano**

Para que uma cidade possa existir e realizar suas funções econômico-sociais, ela tem que estar estruturada com base em seu sistema viário e de transporte.

Um sistema de transporte bem estruturado é aquele que está organizado de forma a atender as necessidades de deslocamento da sociedade pelo menor custo generalizado e ser ao mesmo tempo sustentável.

Nesta perspectiva, um sistema de transporte bem estruturado induz o desenvolvimento socioeconômico da região onde está inserido, já que possibilita maiores fluxos de pessoas e mercadorias .

# Planejamento de Transporte e Planejamento Urbano

No final do século XX, surgiram novas tendências no sentido de favorecer a organização do espaço urbano com base no seu sistema de transporte público e empreendimentos a ele associados, que vêm sendo chamados de TOD – Transit Oriented Development. Neste modelo se reforça as atenções na implantação ou revitalização de empreendimentos na área de influência do sistema de transporte público existente ou que se encontra em implantação.

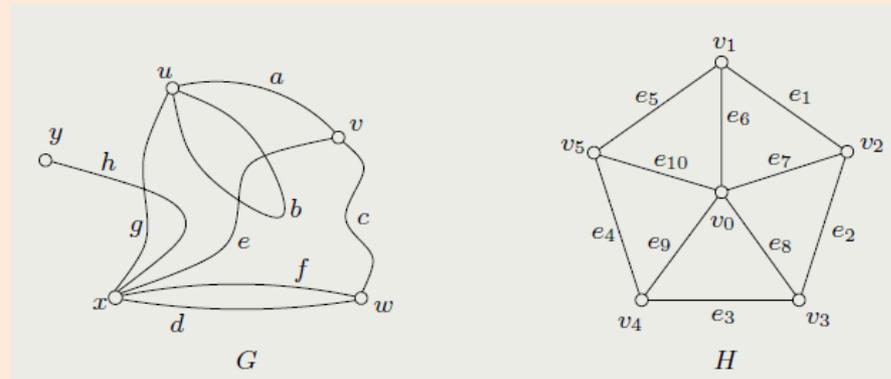
No que concerne ao transporte público e particularmente ao transporte sobre trilhos, o local considerado ideal para as intervenções é o entorno das estações, onde se busca também dotar a área de outros requisitos que impliquem na diminuição das viagens por transporte individual de seus habitantes para outros pontos da cidade.

# CENTRALIDADE

As ligações da rede de estações de um sistema metroferroviário se configuram como uma rede de comunicação. Nesse contexto, um ator é central em uma rede, quando pode comunicar-se diretamente com muitos outros, ou está próximo de muitos atores ou, ainda, quando há muitos atores que o utilizam como intermediário em suas comunicações.

As centralidades urbanas (concentração de bens e serviços) são identificadas a partir do fluxo de transportes e da concentração dos equipamentos urbanos. Nesse contexto, as estações metroferroviárias inseridas no espaço geográfico têm uma tendência natural de exercer um papel importante na relação do sistema de transporte com o ambiente urbano,

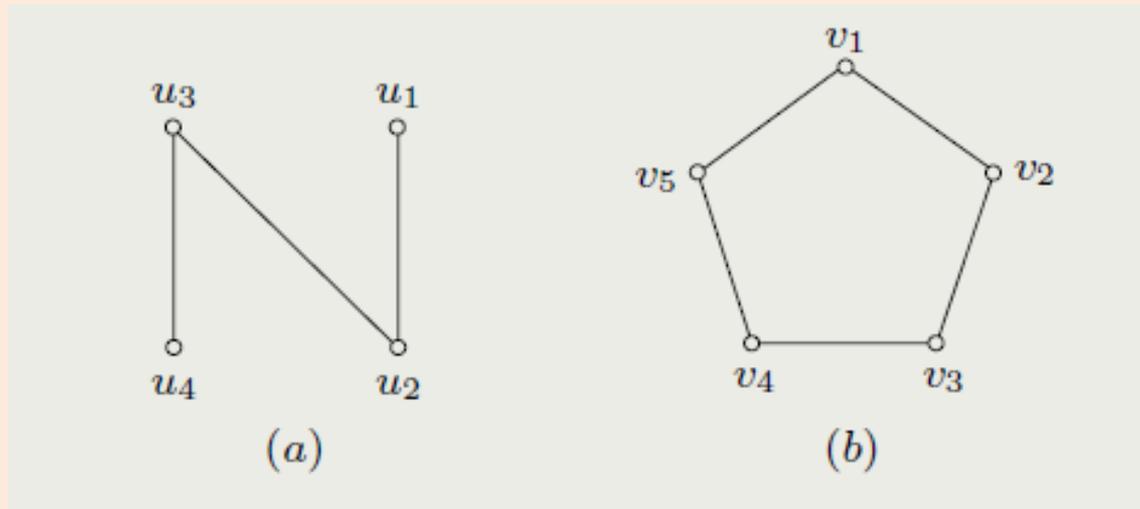
# Grafos



Uma rede de comunicação pode ser representada formalmente através de um grafo. Portanto, com base na Teoria dos Grafos, pode-se utilizar uma técnica de avaliação das estações metroferroviárias, onde a centralidade é um atributo dos elementos representados pelos vértices e sua medida está associada à importância, ao prestígio e à influência de atuação de cada elemento.

Grafos são definidos por seus vértices e arestas  $G=(V,E)$ . Para o grafo  $G$  acima:  $V=\{u,v,w,x,y\}$  e  $E=\{a,b,c,d,e,f,g,h\}$ . As arestas conectam dois vértices adjacentes. O número de vértices  $v(G)=5$  é a ordem do grafo. O número de arestas  $e(G)=8$  é o tamanho do grafo.

# GRAFOS

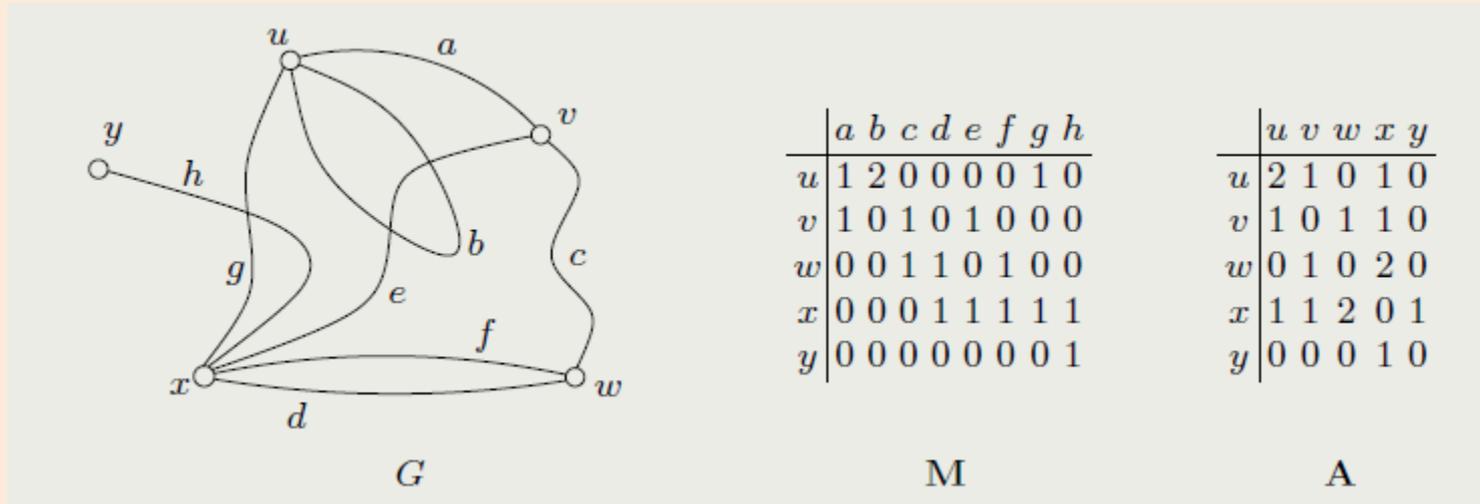


Num *caminho* (a) dois vértices são adjacentes se estão em sequência.

Um caminho fechado é um *ciclo* (b).

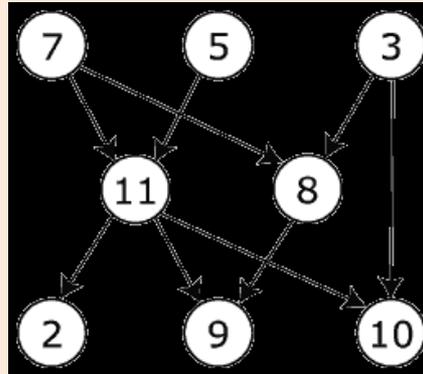
O comprimento de um caminho é o número de arestas entre os dois vértices extremos ou, no caso do ciclo, o número de arestas até que o vértice se repita.

# GRAFOS



Um grafo pode ser representado por sua *matriz de incidência*  $M$ , listando os pares de vértices e arestas que são conectados. Outra opção é representar o grafo por sua *matriz de adjacência*  $A$ , listando os vértices adjacentes.

## Medidas de Centralidade



CENTRALIDADE DE INFORMAÇÃO

CENTRALIDADE DE PROXIMIDADE

CENTRALIDADE DE INTERMEDIACÃO

CENTRALIDADE DE AUTOVETOR

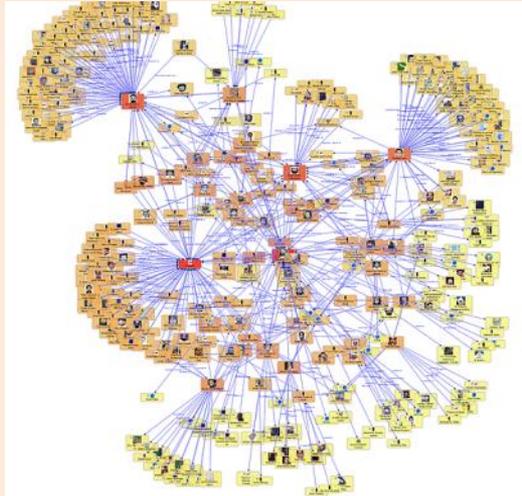
# CENTRALIDADE DE INFORMAÇÃO

Tem como base a idéia de que o número de relações diretas que um elemento estabelece com os outros (dado pelo grau do vértice correspondente) é um aspecto importante de sua posição estrutural e está associado ao número de interações ou conexões de um elemento em uma rede. A sua importância (posição na rede) está associada ao número de elementos interagindo com ele.

Na matriz de adjacência do grafo associado à rede, a centralidade de informação pode ser obtida adicionando-se os valores relacionados nas linhas ou nas colunas.

$$C_D(v_i) = d(v_i), v_i \in V$$

## CENTRALIDADE DE PROXIMIDADE

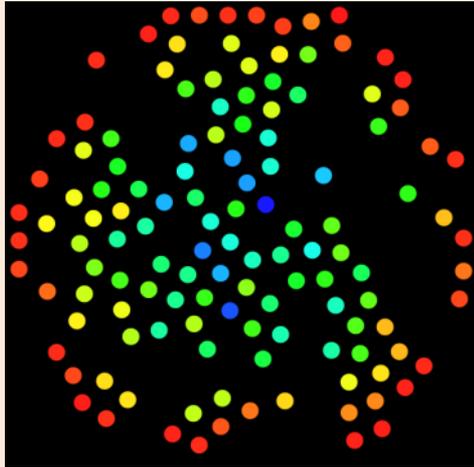


$$C_C(v_i) = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \text{dist}(v_i, v_j)}, \quad v_i, v_j \in V$$

Está associada à rapidez de acesso de um elemento em relação aos outros na rede. O elemento com maior centralidade de proximidade é aquele que se comunica com maior rapidez com todos os outros. Ele é tão mais central quanto menor for o caminho que ele precisa percorrer para alcançar os outros elos da rede.

No grafo associado à rede, a centralidade de proximidade corresponde ao inverso da soma das distâncias do vértice em questão aos demais, ou seja, dos valores relacionados nas linhas/colunas da matriz de distância.

# CENTRALIDADE DE INTERMEDIÇÃO



$$C_B(v_i) = \sum_{i=1}^n \sum_{j:k}^n \left[ \frac{g_{kj}(v_i)}{g_{kj}} \right]$$

Informa a dependência relativa de um elemento em relação aos demais, ou seja, tem como base a idéia de que a dependência relativa a um elemento é um aspecto importante de sua posição estrutural e está associada ao número de vezes que um elemento participa quando é estabelecida uma interação pelos menores caminhos na rede. O elemento com maior centralidade de intermediação é aquele que participa mais ativamente num processo de interação, no qual se percorre os caminhos mais curtos.

# CENTRALIDADE DE AUTOVETOR

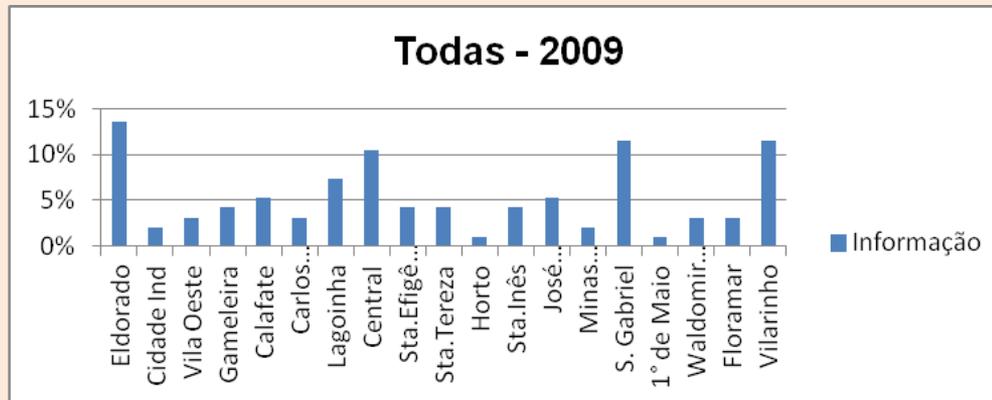
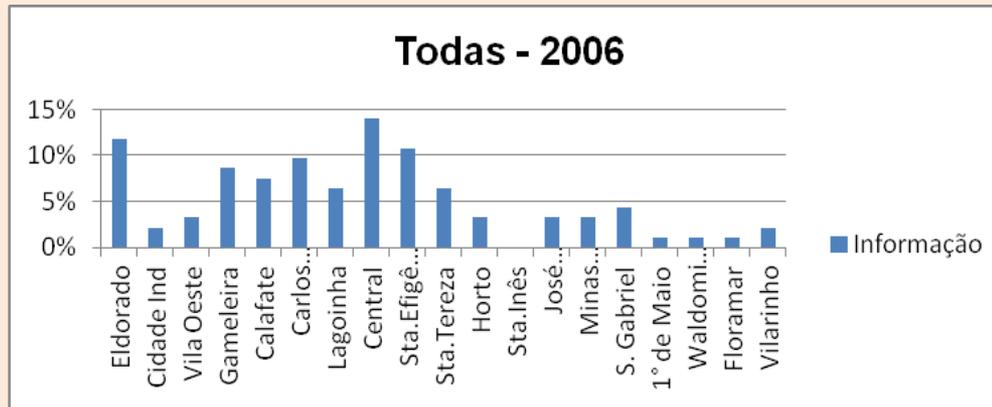
Tem como base a idéia de que um elemento é mais central se estabelece relações com elementos que também estão numa posição central, o que é um aspecto importante de sua posição estrutural. A centralidade de um elemento é uma combinação linear das centralidades dos elementos com ele conectados. Em uma rede de comunicação, aquele elemento que recebe informações de elementos que são fontes de informação tem uma posição privilegiada.

Seja  $R = [r_{ij}]$  uma matriz de relacionamento, não necessariamente simétrica e com diagonal principal nula. Então:

$$\lambda \mathbf{c}(v_i) = \sum_j r_{ij} \mathbf{c}(v_j)$$

# ESTUDO DE CASO: METRÔ DE BELO HORIZONTE

**CENTRALIDADE DE INFORMAÇÃO** (calculada a partir das Matrizes D/D ferroviárias de 2006 e 2009))

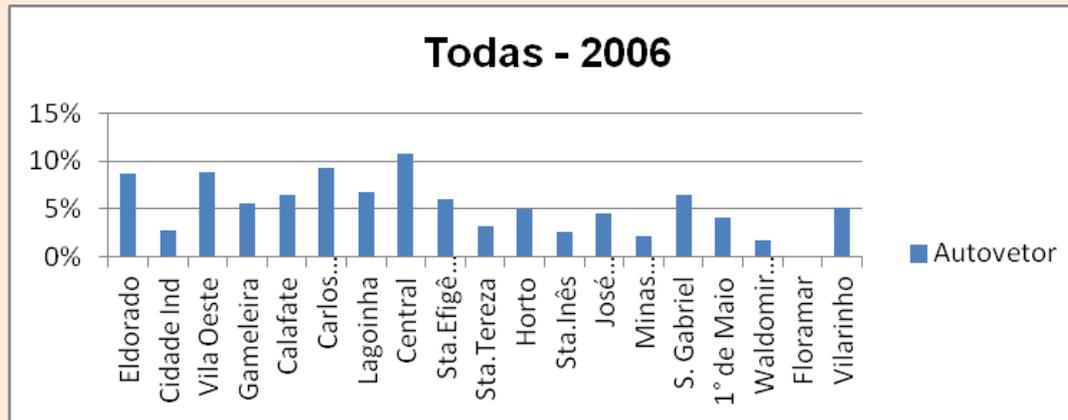


# CENTRALIDADE DE INFORMAÇÃO

Pelo gráfico apresentando os cálculos da centralidade no ano de 2009, observa-se que as estações com maior centralidades de informação foram: Eldorado, Lagoinha, Central, São Gabriel e Vilarinho. Tirando as duas estações centrais (Lagoinha e Central), as demais retratam a influência da existência de terminais de integração com o sistema ônibus exercem sobre a centralidade. Estas centralidades demonstram a capacidade que estas estações têm de transferir e receber passageiros.

Ao se comparar com o gráfico de 2006, verifica-se uma mudança significativa na centralidade das estações num curto espaço de tempo, com a consolidação do trecho entre Minas Shopping e Vilarinho e o aumento das integrações em determinadas estações. No entanto, observa-se que houve uma maior concentração das centralidades nos pontos terminais, o que até certo ponto indica uma sub-utilização das demais estações no contexto da irradiação do desenvolvimento e aumento do movimento pendular.

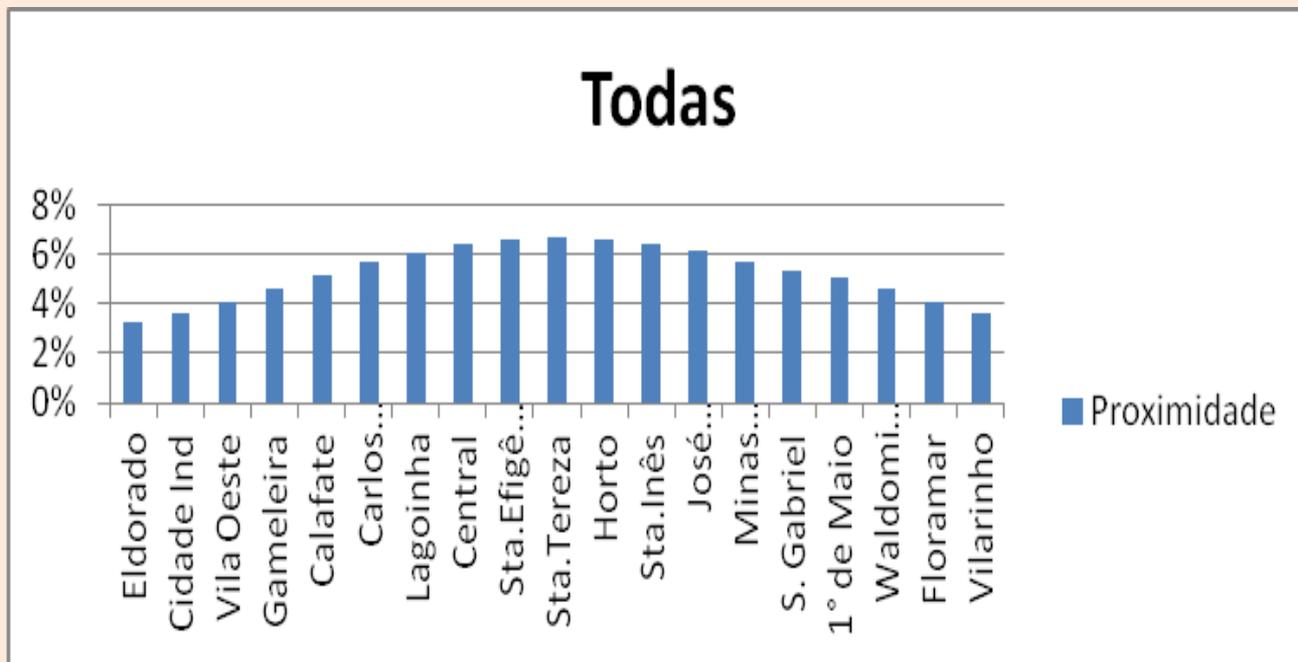
• **CENTRALIDADE DE AUTOVETOR** (calculada a partir das Matrizes O/D ferroviárias)



## CENTRALIDADE DE AUTOVETOR

Possuem maior centralidade nesse indicador, ou seja, as estações que estabelecem mais relações com as outras: Eldorado, Central, São Gabriel e Vilarinho. A seguir aparecem: Calafate, Lagoinha e José Cândido.

• **CENTRALIDADE DE PROXIMIDADE** (calculada com base nas distâncias entre as estações)

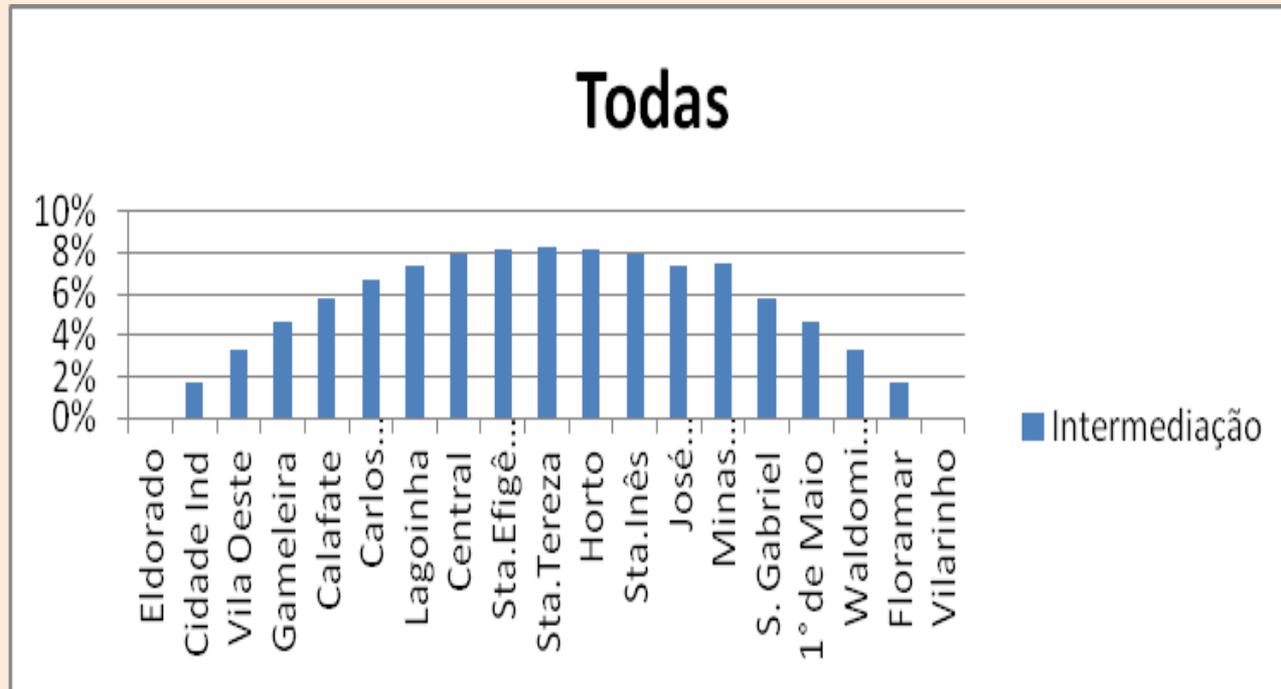


## CENTRALIDADE DE PROXIMIDADE

A centralidade de proximidade apresenta uma curva bem próxima de uma curva normal. Tomando a variância para os valores de centralidade foi obtido um valor igual a 0,01%, um valor bastante pequeno, o que indica que as distâncias entre as estações são, em média, quase as mesmas.

As estações localizadas mais no centro da linha apresentam maior centralidade: Central, Santa Efigênia, Santa Tereza, Horto e Santa Inês.

## CENTRALIDADE DE INTERMEDIÇÃO (calculada a partir dos caminhos geodésicos entre estações)



Como no indicador anterior, apresentam maiores centralidades de intermediação, as estações localizadas mais no centro da linha: Central, Santa Efigênia, Santa Tereza, Horto e Santa Inês

# CONCLUSÕES

| Estação |                   | Centralidade |           |             |               |
|---------|-------------------|--------------|-----------|-------------|---------------|
|         |                   | Informação   | Autovetor | Proximidade | Intermediação |
| 1       | Eldorado          | 14%          | 11%       | 3%          | 0%            |
| 2       | Cidade Industrial | 2%           | 2%        | 4%          | 2%            |
| 3       | Vila Oeste        | 3%           | 4%        | 4%          | 3%            |
| 4       | Gameleira         | 4%           | 5%        | 5%          | 5%            |
| 5       | Calafate          | 5%           | 7%        | 5%          | 6%            |
| 6       | Carlos Prates     | 3%           | 4%        | 6%          | 7%            |
| 7       | Lagoinha          | 7%           | 6%        | 6%          | 7%            |
| 8       | Central           | 10%          | 8%        | 6%          | 8%            |
| 9       | Sta. Efigênia     | 4%           | 5%        | 7%          | 8%            |
| 10      | Sta. Tereza       | 4%           | 5%        | 7%          | 8%            |
| 11      | Horto             | 1%           | 2%        | 7%          | 8%            |
| 12      | Sta. Inês         | 4%           | 5%        | 6%          | 8%            |
| 13      | José Cândido      | 5%           | 6%        | 6%          | 7%            |
| 14      | Minas Shopping    | 2%           | 3%        | 6%          | 8%            |
| 15      | São Gabriel       | 11%          | 10%       | 5%          | 6%            |
| 16      | 1° de Maio        | 1%           | 1%        | 5%          | 5%            |
| 17      | Waldomiro Lobo    | 3%           | 3%        | 5%          | 3%            |
| 18      | Floramar          | 3%           | 3%        | 4%          | 2%            |
| 19      | Vilarinho         | 11%          | 10%       | 4%          | 0%            |

# CONCLUSÕES

Pela análise geral, pode-se dizer que a estação mais expressiva em graus de centralidade é a Central, pois sua presença é bastante significativa em todos os indicadores calculados, mesmo naqueles em que ela não se destaca entre as quatro maiores, esteve presente entre os 6 primeiros. A seguir, pelo mesmo motivo, aparece a estação Lagoinha.

A subutilização de muitas estações ferroviárias demonstra na realidade a subutilização da infraestrutura ferroviária existente. Isto é um enorme desperdício de recursos ao se considerar que, próximo à linha do trem, aparecem corredores rodoviários congestionados, com elevados índices de acidentes e as conseqüentes deseconomias associadas a esses fenômenos. Um modelo excessivamente rodoviário potencializa a dispersão das atividades e da mancha urbana, dificultando as soluções relacionadas com a mobilidade da população.

Por outro lado, este tipo de estudo no âmbito da estação ferroviária é um importante auxiliar no planejamento das integrações.