

AS POTENCIALIDADES DE INDICADORES DE CENTRALIDADE NO ESTUDO DE UM CORREDOR FERROVIÁRIO

Jorge Augusto Martins Gonçalves*

Licínio da Silva Portugal*

Paulo Oswaldo Boaventura Netto**

COPPE/UFRJ

*Programa de Engenharia de Transportes

**Programa de Engenharia de Produção

RESUMO

Este trabalho visa identificar indicadores de centralidade provenientes da teoria dos grafos, que possam dar apoio ao encaminhamento de soluções aos problemas decorrentes da desarticulação urbana na área de influência de um corredor ferroviário e no entorno da estação ferroviária. Para estudo de caso, utilizar-se-á o ramal ferroviário de Saracuruna, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ).

ABSTRACT

The objective of this work is to identify centrality indicators based on graph theory that can give support to solutions to the current problems of urban lack of continuity in the area of influence of a rail corridor and in the neighborhood of a rail station. As a case study we used the rail extension of Saracuruna, in the metropolitan area of Rio de Janeiro.

1. INTRODUÇÃO

Os métodos derivados da teoria dos grafos permitem a representação da estrutura básica dos fluxos em uma rede de comunicação urbana, bem como a distribuição espacial dos equipamentos urbanos. Sua aplicação exige a associação de um grafo a esses equipamentos, considerando-se as unidades espaciais como vértices e associando os fluxos e as distâncias às ligações entre estes, permitindo a visualização da estrutura física da área a ser estudada (Puebla, 1986). Em uma estrutura relacional, é usual descrever a forma de envolvimento de um elemento através das interações recíprocas em termos de restrições impostas e de facilidades oferecidas. Elementos com poucas restrições e muitas facilidades estão em uma posição favorável na estrutura, o que dá a eles, por deferência e atenção dos que estão em posição menos favorável, a condição de pólos.

O significado destas restrições e facilidades precisa ser esclarecido e, de fato, não existe uma resposta definitiva para estas questões. No entanto, pesquisadores de ciências sociais vêm utilizando com frequência a teoria de grafos (Gonçalves *et al.*, 2002) buscando respostas satisfatórias. A descrição da ação de um elemento em uma rede de comunicação, usualmente, é feita a partir de sua atuação estrutural, ou seja, o número de elementos que se comunicam com ele, se ele é uma fonte de comunicação ou se a comunicação depende dele para ser difundida. Estes dados vêm sendo utilizados na determinação de medidas de centralidade, com o apoio da teoria dos grafos.

De acordo com Eppstein (2001), a análise da conexão entre centralidade estrutural e processos de trocas foi introduzida por Bavelas (1948). Uma propriedade importante neste contexto é a centralidade de um vértice. Wagner (2001), através de modelos configuracionais, mostra algumas experiências e constatações obtidas com o estudo das características morfológicas de projetos de cidades, no que se refere aos seus problemas e potencialidades de desenho e nas intervenções e reprojeto de cidades e, ainda, em processos de análise e simulação para núcleos existentes. Tanto em cidades projetadas quanto nas existentes, ou

naquelas em processo de intervenção, são estudadas as características estruturais e locais, centralidade, acessibilidade, crescimento, fatores de segregação e integração urbana. O estudo visa particularmente indicadores que, através da matriz de O-D (Origem-Destino), possam ser medidos quantitativamente e usados na análise da área de influência de um ramal ferroviário e de suas estações, identificando a importância relativa de cada uma delas no âmbito do ramal e de cada equipamento urbano no âmbito do entorno da estação ferroviária.

2. A CENTRALIDADE EM UMA REDE DE COMUNICAÇÃO

Uma rede de comunicação pode ser representada formalmente através de um grafo. A orientação ou não do grafo dependerá dos tipos de relações estabelecidas, haja vista que as medidas de centralidade numa rede de comunicação podem ser elaboradas tanto para casos em que as relações são simétricas, quanto para aqueles em que as relações são não-simétricas.

No presente artigo, optou-se por apresentar as definições da teoria dos grafos necessárias ao acompanhamento da discussão à medida em que se tornarem necessária. As definições básicas, bem como maiores detalhes sobre a teoria, estão em Boaventura Netto (2003).

Um *grafo* $G = (V, A)$ é uma estrutura matemática definida por um conjunto V , discreto e finito, cujos elementos v são chamados *vértices* ou *nós*, e por um conjunto A de *ligações* ou *relações de adjacência*, que são pares de elementos (v, w) de V que guardam alguma relação entre si. Um grafo pode ser não orientado ou orientado: no primeiro caso, uma ligação é uma *aresta* e, no segundo, é um par ordenado e se chama um *arco* com *sentido* de v para w . (O arco (v, w) é *simétrico* do arco (w, v)). Um grafo orientado possui um grafo não orientado a ele *associado*, obtido desconsiderando-se a orientação. Um vértice ou uma aresta pode receber um *valor* que pode ser chamado genericamente *peso*, ou particularmente, por exemplo, *custo* e, no caso de uma aresta, também *comprimento*. Um *caminho* é uma seqüência de arestas ou arcos (neste caso, de mesmo sentido). O número de ligações de que um vértice participa é o seu *grau*. Um caminho possui um *valor* que é o número de ligações que ele contém, ou então o resultado de uma operação associativa (como a soma, ou o produto) sobre os valores das suas ligações. O valor do menor caminho entre dois vértices dados v e w é a *distância* d_{ij} entre eles e um caminho cujo valor é igual à distância é a *geodésica* que une v a w . Um grafo (orientado) é *conexo* se (no seu grafo associado) possui sempre um caminho entre dois vértices quaisquer. Um grafo pode ser representado por uma *matriz de adjacência* $A = [a_{ij}]$, onde as linhas e as colunas são associadas ao conjunto V , cada elemento sendo igual a 1 se existir a ligação correspondente e nulo em caso contrário. Se houver valores associados, pode-se definir uma *matriz de valores* de forma análoga.

Em uma rede de comunicação, 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 um deles. A partir do conhecimento da posição hierárquica na rede é possível, portanto, identificar o potencial de um agente na execução de tarefas específicas.

Visando esclarecer conceitualmente o modelo de centralidade aplicado a uma rede de comunicação social, Freeman (1979) distingue as centralidades de informação (*degree*), de proximidade (*closeness*) e de intermediação (*betweenness*). Estes três tipos de centralidade têm origem em estudos antropológicos, com aplicações ao estudo do poder em redes informais de comunicação (Harary, 1959).

Bonacich (2001) propôs uma medida de centralidade na qual as unidades de centralidade são adicionadas entre elementos conectados, isto é, à centralidade de um elemento são

adicionadas as centralidades daqueles que com ele estão conectados. Na formulação matemática esta medida diz respeito à questão de autovetores de uma aplicação linear.

3. INDICADORES DE CENTRALIDADE E MEDIDAS ASSOCIADAS

3.1 Status de um vértice

Em um grafo conexo, a soma das distâncias ou *status* $s(v)$ de um vértice v é igual a soma das distâncias entre v e todos os outros vértices (Harary, 1959):

$$s(v_i) = \sum_{j=1}^p d_{ij} \quad (1)$$

3.2 Centralidade de informação

A centralidade de informação tem como base a idéia 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 (Ruhnau, 2000) 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. Se esse número for elevado, aumentam as chances de satisfação de necessidades, diminui a dependência em relação aos outros e aumenta o acesso aos recursos disponíveis na rede (Hanneman, 2002). Em uma rede de informações ou de difusão de uma infecção, a centralidade de informação traduz a capacidade de receber uma informação ou de ser infectado (o que indica um eventual aspecto negativo). 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.

$$C_D(v_i) = d(v_i), v_i \in V \quad (2)$$

3.3 Centralidade de proximidade

A centralidade de proximidade 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. 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 distâncias):

$$C_C(v_i) = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \text{dist}(v_i, v_j)}, \quad v_i, v_j \in V \quad (3)$$

Em um processo de difusão, a centralidade de proximidade traduz a rapidez com uma informação chega a um elemento ou a rapidez com que será infectado.

3.4 Centralidade de intermediação

A centralidade de intermediação tem como base a idéia que a dependência relativa a um elemento é um aspecto importante de sua posição estrutural (Ruhnau, 2000) 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.

$$C_B(v_i) = \sum_{j=1}^n \sum_{j:k > i}^n \left[\frac{g_{kj}(v_i)}{g_{kj}} \right] \quad (4)$$

No grafo associado à rede, a centralidade de intermediação diz respeito ao número $g_{ij}(v)$ de caminhos geodésicos entre i e j que passam por um vértice v , relacionado ao número total g_{ij} desses caminhos. Em um processo de difusão, um vértice que tenha a maior centralidade de intermediação pode controlar o fluxo de informações, atuando como um “porteiro” (*gatekeeper*) ou servindo de elo entre regiões isoladas na rede.

3.5 Centralidade Autovetor

A centralidade de autovetor (*eigenvector*) tem como base a idéia que um elemento é mais central se estabelece relações com elementos que também estão em uma posição central (Ruhnau, 2000), 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 (Bonacich, 2001). Em uma rede de comunicação, aquele elemento que recebe informações de elementos que são fontes de informação tem uma posição privilegiada. Em um processo de difusão de infecção, um elemento com alto valor desta centralidade está conectado com elementos também conectados com muitos elementos, multiplicando, assim, o risco de infecção.

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

$$\lambda C(v_i) = \sum_j r_{ij} C(v_j) \quad (5)$$

o que, em notação matricial, corresponde a $Rv = \lambda v$, equação cujas soluções são os autovalores e os autovetores da matriz, que pode ser a de adjacência, ou a de valores. Normalmente se utiliza o maior autovalor (Bonacich, 1987).

A Tabela 1 apresenta um sumário das características destes indicadores de centralidade, considerando a direção do relacionamento (adaptada de Zemljic, 2005):

Tabela 1. Sumário das características dos indicadores de centralidade

Indicador	Direção Relacional	Aspectos Detectados	Aspectos Quantificados pelo Indicador
Centralidade de Informação	Entrando Saindo	O elemento de maior visibilidade	Inclui todos os elementos adjacentes. Somente escolhas diretas. Índice local
Centralidade de Proximidade	Entrando Saindo	Elemento próximo de todos os outros.	Liberdade e controle em relação aos outros. Menores caminhos. Considera escolhas indiretas. Índice global.
Centralidade de Intermediação	Relação direta	Elemento pelo qual passa um grande número de caminhos mínimos.	Somente redes binárias. Considera escolhas indiretas. Índice global.
Centralidade Auto-vetor	Simétrica Não-simétrica	Um elemento é mais visível se está conectado com elementos que	Considera aspectos multidimensionais. Índice global

4. CENTRALIDADE E TRANSPORTES

Segundo Jorgensen (1998), a despeito da influência recíproca entre “centralidade” e “demanda de transportes”, a ciência econômica urbana e o planejamento de transportes jamais lograram uma linguagem, muito menos um método, comum de análise sócio-espacial. Para a economia urbana clássica, o transporte é essencialmente “custo” associado à distância, ofertado quando a demanda atinge o limite crítico. Para os estudos clássicos de transporte, a centralidade é o lugar de destino da demanda de pico concentrada em “corredores”. Assim, o planejamento de transportes deve intervir conscientemente no processo de formação da estrutura espacial urbana, articulando as diversas formas e graus de intensidade com que se manifesta o fenômeno da centralidade em um meio urbano desenvolvido.

Para Bey (1996), os valores dos caminhos mínimos espaciais e temporais são elementos importantes na avaliação das deficiências das redes de transporte. As matrizes de caminho mínimo e de tempo mínimo podem ser facilmente obtidas a partir das matrizes de valores do grafo e possibilitam a obtenção de outros indicadores, tais como:

- Centralidade espacial média: permite conhecer a posição dos vértices de rede em função da sua disposição espacial e das vias;
- Centralidade temporal média: possibilita cartografar linhas de “isocentralidade temporal”.

De acordo com Holme (2003), medidas de centralidade com origem na teoria dos grafos têm sido usadas com frequência na determinação dos pontos centrais de fluxo de comunicação em redes. Em redes reais, o estado de densidade do tráfego decorre da ação entre a dinâmica dos fluxos e a estrutura da rede. O trabalho investiga a relação entre medidas de centralidade e a densidade do tráfego usando um modelo de partículas dinâmicas. Dentre outras conclusões verifica que, mesmo em tráfego de baixa densidade, as medidas de densidade de tráfego dinâmico (raio de ocupação) têm uma dependência não trivial com a centralidade estática (quantificada pela centralidade de intermediação), pois vértices comparativamente não centrais absorviam uma grande parte do tráfego.

Cervero (1994), a partir do conceito de desenvolvimento orientado ao transporte público (*transit-oriented development*), apresenta uma metodologia que busca identificar fatores associados às viagens de trem, junto aos trabalhadores dos escritórios situados nas proximidades da estação. Embora o objetivo do estudo não tenha sido a identificação das centralidades, as propostas de intervenção, de certa forma, visam o seu reforço, pois identificados os fatores e efetuando-se melhorias, a tendência é aumentar a procura e também as atividades que estão na origem deste aumento.

Nos estudos de Jorgensen (1998) e Cervero (1994), as centralidades urbanas - concentração de bens e serviços – são identificadas a partir da demanda de transportes. No entanto, uma questão relevante, e que precisa ser melhor investigada, diz respeito à distribuição dos equipamentos na estrutura urbana associada. Um corredor ferroviário, por exemplo, corta o espaço urbano linearmente e tem a tendência de distribuir os equipamentos urbanos no entorno de suas estações. Assim, a distribuição espacial dos equipamentos urbanos, nas cercanias do ramal e da estação ferroviária, forma uma rede de comunicações com características semelhantes às das redes onde se usam os indicadores estudados no capítulo 2.

5. POTENCIAL DE APLICAÇÃO AO ESTUDO DO CORREDOR FERROVIÁRIO

Os problemas referentes ao corredor ferroviário dizem respeito a dois aspectos: no entorno da estação e no conjunto delas ao longo do ramal ferroviário. No entorno da estação, o objeto de estudo se refere a três questões: localização dos equipamentos urbanos, acessibilidade e atratividade. Na questão da localização dos equipamentos urbanos, o que se pretende é facilitar o acesso à comunidade, utilizando o critério dos menores caminhos para reduzir as distâncias. No que se refere à acessibilidade, busca-se evitar a duplicação dos serviços, sugerindo uma distribuição equilibrada no âmbito dos equipamentos urbanos, e empreender melhoria nos transportes, indicando o modo de transporte mais adequado para a integração modal, reduzindo, desta forma, o tempo de percurso entre os equipamentos urbanos. No que se refere à atratividade, além de intervenções que minimizem as distâncias e tempos a estação, sugere-se também implementar atividades que atraiam viagens para o local. Quanto à atratividade no ramal, o foco é a melhoria da imagem e qualidade do serviço ferroviário, buscando um fluxo de viagens mais equilibrado e que promova a interatividade entre as estações ferroviárias, respeitando suas vocações e potencializando suas complementariedades.

Estas questões serão examinadas, a partir da centralidade, e levando em consideração duas situações: trabalhando com dados referentes aos que estão dentro do sistema, isto é, aqueles que utilizam o sistema ferroviário nos seus deslocamentos diários, e com dados referentes aos que estão fora do sistema. No primeiro caso, o que se pretende é sinalizar melhorias e no segundo atrair imediatamente para o sistema os possíveis usuários que circulam em congestionamentos, sem conforto e sem segurança.

Os dados referentes ao cálculo da centralidade de informação, de proximidade, de intermediação e de autovetor, no ramal, envolvem a matriz O-D. Através desta matriz é possível construir um grafo de relacionamento, onde os vértices são os bairros e se referenciam as ligações entre eles. Quanto ao entorno da estação, podem-se calcular as centralidades de informação, proximidade, intermediação e autovetor, a partir da construção de um segundo grafo. Nele, os vértices são locais onde estão alocados equipamentos urbanos e os arcos são as ligações diretas, considerando-se meios de transporte motorizado ou não motorizado (neste se inclui a caminhada e o uso de bicicletas). No entanto, estes dados não fazem parte deste estudo, pois não foi possível efetuar pesquisa de campo que identificassem os locais mais freqüentados pelas pessoas e o modo de transporte utilizado. Sugere-se um levantamento futuro que possibilite captar a matriz O-D para os deslocamentos no entorno das estações.

Em relação aos resultados esperados, no caso do ramal, preliminarmente se pode argumentar que uma alta centralidade da informação de um bairro faz com que este se torne referência no âmbito do movimento das pessoas. Identificando a vocação dos bairros com alta centralidade de informação, pode-se estabelecer uma classificação do tipo pólo *comercial*, *industrial* ou *residencial*. Em relação à centralidade de proximidade, um bairro é tão mais central quanto menor o caminho que se precise percorrer para, a partir dele, alcançar os outros bairros da rede. Isto mede, em última análise, a sua independência em relação ao controle de outros. A centralidade de intermediação é o potencial daqueles bairros que servem de intermediários, calculando o quanto um bairro atua como "ponte", facilitando o fluxo de viagens em uma determinada rede. Um bairro pode não ter muitas ligações, estabelecer elos fracos, mas ter uma importância fundamental na mediação das trocas. O papel de "ponte" traz em si como

marca o poder de facilitar ou restringir o fluxo e o trajeto das viagens que circulam na rede. Os bairros com os maiores índices de centralidade de intermediação são locais estratégicos para o corredor: qualquer deficiência que nele ocorra, repercute em um número expressivo de viagens. Por outro lado, conhecidos o índice de centralidade de intermediação do bairro onde está situada a estação ferroviária e a quantidade de viagens por modalidades rodoviárias que passam pela estação, seria possível propor intervenções visando melhorar o desempenho das vias e indicar o potencial de transferência para a ferrovia.

No caso do entorno da estação, ao invés dos bairros, as centralidades serão associadas aos locais mais freqüentados pelas pessoas. Desta forma, os locais com os maiores índices de centralidade de informação devem estar próximos uns dos outros, tanto no aspecto distância quanto no aspecto tempo, alocar equipamentos urbanos com atividades hospitalares, educacionais, residenciais e ter acesso facilitado à estação ferroviária. A análise dos resultados das centralidades de proximidade e intermediação deve ter como foco a estação ferroviária, pois será através dela que serão feitas propostas de intervenções visando integrar os transportes e os equipamentos urbanos.

A Figura 1 relaciona os indicadores de centralidade com propostas de soluções para alguns problemas típicos dos setores urbanos e de transportes.

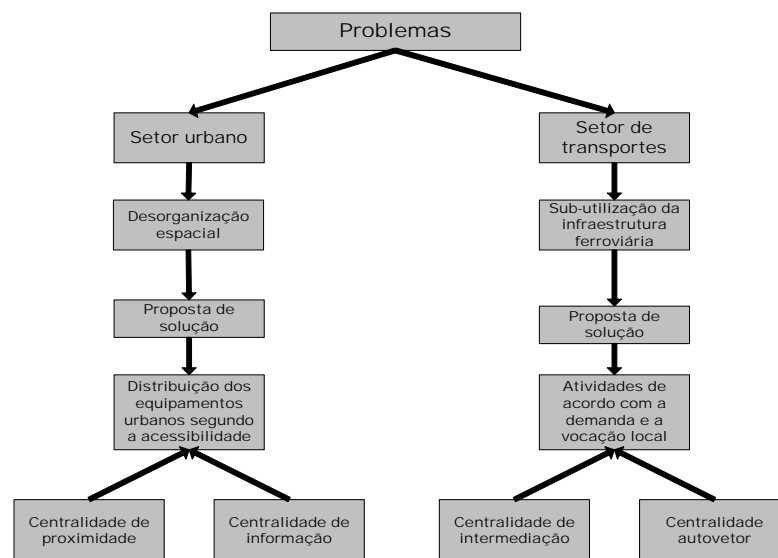


Figura 1. Centralidade e problemas típicos dos setores urbanos e de transportes

6. ESTUDO DE CASO

O ramal Saracuruna (de Barão de Mauá até Gramacho) foi utilizado como estudo de caso. Contribuíram para sua escolha a oportunidade de poder contribuir no processo de revitalização da região, além da proximidade ao “campus” da UFRJ e a possibilidade de uma futura integração deste “campus” com estações ferroviárias próximas.

Foram analisadas duas situações: ligações diretas através de ônibus na área de influência do ramal e ligações entre as estações do ramal. No primeiro caso, construiu-se uma matriz de adjacência (ligações diretas) da seguinte maneira: ligava-se o bairro onde estava localizada a estação ferroviária com outros bairros da cidade, desde que existisse uma linha de ônibus com origem em um e destino no outro. No segundo caso, a matriz de adjacência foi construída através do seguinte procedimento: dada a matriz de origem-destino, cada estação

foi ligada a no máximo 4 estações, sendo estas as de maiores fluxos. A figura 2 mostra um mapa onde se pode identificar a área de influência do ramal, a tabela 2 o número de viagens nas estações no ano de 2001, o quadro 1 as centralidades na área de influência e o quadro 2 as centralidades nas estações do ramal, obtidas usando o *software* UCINET. O quadro 3 mostra as centralidades de intermediação de fluxo. Nos quadros, os maiores valores estão indicados em negrito.



Figura 2. Área de influência do ramal.

Tabela 2. Movimento mensal entre as estações

Saracuruna	9.176.112
Barão de Mauá	55.270
Triagem	545.374
Manguinhos	233.010
Bonsucesso	549.179
Ramos	331.269
Olaria	297.203
Penha	253.978
Penha Circular	193.589
Braz de Pina	104.005
Cordovil	125.335
Parada de Lucas	216.001
Vigário Geral	113.205
Duque de Caxias	1.597.484
Gramacho	2.234.492
Campos Elisios	237.522
Jardim Primavera	378.474

Fonte: SuperVia

Quadro 1. Centralidades na área de influência

Centralidade Localidade	Informação	Proximidade	Intermediação	Autovetor
Belford Roxo	4.0	26.3	1.7	0.30
Bonsucesso	5.0	25.9	11.3	0.30
Braz de Pina	0.0	4.8	0.0	0.00
Campos Elísios	1.0	21.5	0.0	0.10
Barão de Mauá	11.0	29.4	70.9	0.50
Duque de Caxias	9.0	28.5	51.3	0.45
Cordovil	2.0	24.7	0.0	0.20
Gramacho	5.0	26.3	33.0	0.30
Jardim Primavera	1.0	21.5	0.0	0.10
Manguinhos	2.0	22.2	0.5	0.10
Nova Iguaçu	2.0	23.8	0.0	0.20
Olaria	1.0	20.8	0.0	0.10
Parada de Lucas	2.0	23.5	17	0.10
Penha	5.0	25.9	8.7	0.30
Penha Circular	1.0	23.5	0.0	0.10
Ramos	1.0	23.5	0.0	0.10
Triagem	3.0	24.6	4.9	0.20
Vigário Geral	1.0	19.6	0.0	0.10
Zona Oeste	4.0	25.6	0.5	0.30
Zona Sul	4.0	25.3	18.1	0.20

Quadro 2. Centralidades no ramal

Centralidade Localidade	Informação	Proximidade	Intermediação	Auto-vetor
Barão de Mauá	12.0	100.0	19.0	0.219
Bonsucesso	5.0	50.0	14.0	0.287
Braz de Pina	3.0	7.6	0.0	0.308
Duque de Caxias	12.0	92.0	30.0	0.244
Cordovil	3.0	7.6	0.0	0.308
Gramacho	12.0	100.0	29.0	0.219
Manguinhos	4.0	52.0	1.2	0.289
Olaria	5.0	35.0	0.5	0.308
Parada de Lucas	4.0	54.0	0.0	0.289
Penha	4.0	54.0	0.0	0.289
Penha Circular	3.0	52.0	0.7	0.289
Ramos	4.0	57.0	7.5	0.244
Vigário Geral	5.0	40.0	0.4	0.287

Quadro 3. Centralidade de intermediação, usando o fluxo

Localidade	Centralidade	Intermediação
Barão de Mauá		22.322
Bonsucesso		7.703
Braz de Pina		0.917
Duque de Caxias		27.220
Cordovil		1.536
Gramacho		51.774
Manguinhos		6.023
Olaria		4.824
Parada de Lucas		3.343
Penha		2.922
Penha Circular		1.057
Ramos		7.410
Vigário Geral		2.349

Os resultados obtidos no primeiro caso – ligações através de ônibus – mostram que as localidades situadas nas extremidades do ramal tiveram reforçadas a sua centralidade e localidades situadas no interior do ramal perderam centralidade. Isto pode ser atribuído às alterações na forma de ocupação do solo, decorrentes da concorrência dos sistemas motorizados. Destaque-se o município de Duque de Caxias, pois como centro de informação, proximidade, intermediação e autovetor, é um local estratégico num plano de desenvolvimento socioeconômico com suporte no sistema metropolitano de trens de passageiros. Além de ser o local adequado para alocar pólos comerciais e industriais, é estratégico como pólo de integração modal e territorial. Por outro lado, sua centralidade autovetor indica que, através de intervenções, pode-se diluir a sua importância pelos bairros adjacentes, evitando o gigantismo e contribuindo para a sustentabilidade.

Em relação aos resultados no interior do ramal – viagens de trens entre as estações – pode-se verificar o quanto foi prejudicial a competição entre o sistema de trens e os modos de transportes motorizados, pois vários bairros perderam centralidade o que, com certeza, contribuiu para a degradação socioeconômica da região. As centralidades nos pontos terminais mostram que as estações interiores estão sub-utilizadas. No entanto, como o sistema de trens está em processo de revitalização, os futuros investimentos da empresa ferroviária podem ser orientados pelos resultados obtidos. Assim, reforçando-se as centralidades de informação, proximidade, intermediação e autovetor, no entorno das estações, e de acordo com suas vocações, é possível gerar um ambiente favorável ao aumento da demanda, e conseqüentemente obter uma distribuição mais equilibrada dos fluxos de viagens no ramal.

7. CONCLUSÕES

No setor de transportes, a predominância das modalidades rodoviárias faz com que os automóveis e os ônibus passem a ter a função principal, mas sem reunir os atributos requeridos para tal, de estruturadores do tecido urbano e integradores dos meios de

transporte. Cabe ressaltar que tais modos rodoviários se caracterizam por promoverem uma ocupação de espaço mais espalhada e de difícil organização e controle, diferentemente dos sistemas metro-ferroviários, que tendem a estimular um uso do solo mais previsível e concentrado no entorno das estações, a partir das quais o desenvolvimento pode ser irradiado. Além disso, o modelo excessivamente rodoviário, além da dispersão das atividades socioeconômicas, potencializa restrições aos deslocamentos, que, para serem superadas, fazem com que parte da população de menor mobilidade procure morar próximo de centros com mais oportunidades de trabalho e serviços.

No caso da RMRJ e de outras metrópoles brasileiras, o processo de revitalização urbana pode seguir exemplos bem sucedidos na Europa, Ásia e EUA, de uso dos sistemas metro-ferroviários, por exemplo, o “transit oriented development”, pois é um enorme desperdício a subutilização da infra-estrutura ferroviária, enquanto ao seu lado, corredores rodoviários operam congestionados, com elevados índices de acidentes e as conseqüentes deseconomias. Além disso, os ganhos sociais justificam os investimentos, o que é defendido por diferentes planos, inclusive o de Doxiadis, que infelizmente só é lembrado pelos governantes para respaldar a construção de vias expressas.

Os resultados obtidos mostram que os conceitos e as fórmulas matemáticas sugeridas, originalmente aplicadas no estudo em relacionamentos humanos, são adequadas para utilização em um meio urbano. Assim, em projetos com base em conceitos de integração e sustentabilidade, o conhecimento das centralidades, através da comunicação entre os bairros e entre equipamentos, particularmente nos corredores ferroviários, contribui na identificação de pólos no âmbito do ramal e da estação ferroviária, indicando locais favoráveis à integração modal.

O aprofundamento nesta linha de pesquisa pode utilizar os resultados obtidos e, através do aperfeiçoamento do que já foi utilizado e da identificação de outras medidas de centralidade, buscar superar as limitações ainda existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, M. de A. (1997) *A Evolução Urbana do Rio de Janeiro*, IPLANRIO, RJ, BR.
- Bavelas, A. (1948) A Mathematical Model for Group Structures, *Human Organization*, 7, 16-30.
- Bey, J. M. P, Pons, J. S. (1996) *Geografías de las redes y sistemas de transportes*, Editorial Síntesis, Madri.
- Boaventura Netto, P.O. (2003) *Grafos: Teoria, modelos, algoritmos*, Edgard Blucher, São Paulo.
- Bonacichi, P. (1972) Factoring and Weighing approaches in Status Scores and Clique Identification, *Journal of Mathematical Sociology* 2, 113-120.
- Bonacich, P. (1987) Power and Centrality: A Family of Measures, *The American Journal of Sociology*, V. 92, No. 5, 1170-1182.
- Bonacich, P. (2001) Eigenvector-like measures of centrality for asymmetric relations, *Social Networks*, 23: 191-201.
- Cervero, R. (1994) Rail-Oriented Office Development in California: How Successful? *Transportation Quarterly*, Vol. 48, No. 1. Virginia, 23 – 30.
- Eppstein, D. (2001) Fast Approximation of Centrality, *12 th ACM-SIAM Symp. Discrete Algorithms*, Washington, 228-229.
- Fremann, L. C. (1979) Centrality in Social Networks. Conceptual Clarification.”, *Social Networks*, 1: 215-239.
- Gonçalves, J. A. M., Portugal, L. da S., Nassi, C. D. (2002) A Centralidade como Instrumento de Análise do Desenvolvimento Sócio-Econômico no Entorno de uma Estação Ferroviária, *XVI ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Natal, Volume 2, 261-272.
- Hanneman, R. A. (2002) *Introduction to Social Networks Methods*, Textbook supporting Sociology 157, University of California, Riverside.
- Harary, F. (1959) Status and contrastatus. *Sociometric* 22, 23-43.

- Holme P. (2003) *Congestion and centrality in traffic flow on complex networks*, Department of Physics, Umeå University, Sweden.
- Jorgensen Jr. (1998) Demanda de transporte e centralidade: um estudo da distribuição espacial de viagens na cidade do Rio de Janeiro. *Tese de Mestrado*. PET-COPPE/UFRJ.
- Puebla, J. G. (1986) Spatial Struture of Network Flows: A Graph Theoretical Approch, *Transportation Research*, vol 21b, No. 6, 489-502, Great Britain.
- Ruhnau, B. (2000) Eigenvector-centrality – a Node-centrality?, *Social Networks* 22, 357-365, Dortmund, Germany.
- Wagner, M. L. (2001) *A configuração espacial urbana: experimentações para a descrição e desenho das cidades*. *Anais do IX Encontro Nacional da ANPUR*. Rio de Janeiro. Vol. III, 1735 – 1750.
- Zemljic, B., Hlebec, V. (2005) Reliability of measures of centrality and prominence, *Social Networks* 27, 73-88.

Agradecimentos:

Ao CNPq pelas bolsas de produtividade.

Contato:

goncalves@openlink.com.br; licinio@pet.coppe.ufrj.br; boaventu@pep.ufrj.br