

## **Estudo de Centralidades para Unidades Portuárias Brasileiras**

**Luana Carneiro Brandão**

Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense  
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ  
luanabrandao@id.uff.br

**Renata Raposo Del-Vecchio**

Departamento de Análise do Instituto de Matemática – Universidade Federal Fluminense  
Rua Mário Santos Braga, Campus Valonguinho, Centro, 24020-140, Niterói, RJ  
renata@vm.uff.br

### **RESUMO**

O presente trabalho estuda a centralidade de unidades portuárias brasileiras, com base em três medidas, quais sejam, *degree centrality*, *eigenvector centrality* e *flow betweenness centrality*. Tal cálculo de centralidade baseia-se na movimentação total de carga não containerizada entre unidades portuárias, no período de janeiro a maio de 2013. Numa primeira abordagem, são consideradas apenas a movimentação de carga entre unidades brasileiras, enquanto na segunda abordagem, é considerada toda a movimentação internacional de carga que envolveu unidades portuárias brasileiras. Por fim, é feita uma análise comparativa das diferentes medidas de centralidade e das duas abordagens distintas, no intuito de extrair informações relevantes do sistema portuário brasileiro, no cenário atual.

**PALAVRAS-CHAVE.** Medidas de Centralidade, Unidades Portuárias Brasileiras, Movimentação de Carga

**Área principal:** Outras aplicações em PO

### **ABSTRACT**

The present study analyses centrality measures for Brazilian ports and private terminals, particularly degree centrality, eigenvector centrality and flow betweenness centrality. These measurements are based on the total non-containerized cargo shipped between port units, from January to May 2013. Firstly, we consider only the shipment between Brazilian units, and then, in a second approach, we add the international shipment with Brazilian units. Finally, we compare the different centrality measures and the different approaches to obtain relevant information concerning the current scenario for the Brazilian port system.

**KEYWORDS.** Centrality Measures, Brazilian Port Units, Cargo shipment

**Main area:** Other applications in OR

## 1. Introdução

A infraestrutura de transporte afeta diretamente a competitividade e o desenvolvimento econômico do país (Briano *et al.*, 2010), fatores esses de extrema relevância no cenário atual de expansão do comércio internacional. Apesar de não ser a principal modalidade de transporte no Brasil, posto ocupado pelo transporte rodoviário, o modo aquaviário apresenta um papel importante, principalmente no comércio exterior.

Em 2013, os portos brasileiros movimentaram 931 milhões de toneladas em mercadorias, o equivalente a mais de 90% das exportações do país desse ano, segundo a Secretaria Especial de Portos da Presidência da República, responsável pela formulação de políticas e pela execução de medidas, programas e projetos de apoio ao desenvolvimento da infraestrutura dos portos marítimos.

Devido à inegável importância da infraestrutura portuária, muitos estudos avaliam o desempenho de portos em diversos países. Entretanto, grande parte desses trabalhos avalia a eficiência portuária, em especial, com o uso das técnicas Fronteira Estocástica e Análise Envoltória de Dados (Falcão e Correia, 2012). Outros trabalhos, ainda, como Caillaux *et al.* (2011) e Rubem *et al.* (2014), utilizam métodos multicritérios para analisar portos brasileiros.

Nesse contexto, este artigo busca avaliar as unidades portuárias brasileiras com base em medidas de centralidade, no intuito de estudar a importância de cada unidade para o sistema portuário, no cenário atual. Para isso, considera-se o total da carga não containerizada transportada entre os portos no período de janeiro a maio de 2013, sendo propostas duas abordagens. A primeira baseia-se apenas na movimentação de carga entre portos nacionais, enquanto a segunda considera também a movimentação internacional.

O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta o referencial teórico do presente estudo, com definições básicas em teoria dos grafos e centralidade; a seção 3 apresenta o detalhamento do estudo de caso, isto é, a definição do escopo do problema, a base de dados e a metodologia adotada para o cálculo da centralidade; a seção 4 apresenta os resultados do estudo, bem como as análises desses resultados; e a seção 5 apresenta as conclusões do trabalho.

## 2. Referencial Teórico

### 2.1. Definições Básicas em Teoria dos Grafos

Um grafo é identificado por um par  $G = (V, E)$ , em que  $V$  é o conjunto de  $n$  vértices  $v_i \in V$  e  $E$  é o conjunto de  $m$  arestas  $[v_i, v_j] \in E$  (do inglês, *edges*), sendo cada aresta formada por um par de vértices de  $V$ , ou seja,  $v_i, v_j \in V$ . Acrescenta-se que os vértices conectados por arestas podem ser denominados vizinhos.

No presente estudo, são utilizados grafos simples, i.e., que não apresentam mais de uma aresta entre dois vértices (arestas paralelas) ou arestas com vértices coincidentes  $[v_i, v_i]$ , denominados laços (Feofiloff *et al.*, 2004). Os grafos do presente são também não orientados, i.e., não há direcionamento entre os dois vértices conectados por uma aresta.

Ademais, o presente trabalho utiliza apenas grafos conexos, em que existe pelo menos um caminho que liga quaisquer dois vértices. Matematicamente, define-se um caminho como um grafo da forma  $(\{v_1, v_2, \dots, v_n\}, \{v_i v_{i+1} : 1 \leq i < n\})$  (Feofiloff *et al.*, 2004). Em palavras, um caminho é uma sequência de vértices, em que cada vértice é ligado ao seguinte por uma aresta.

A matriz de ordem  $n$ ,  $A = A(G) = [a_{ij}]$ , para a qual  $a_{ij} = 1$ , se  $[v_i, v_j] \in E$ , e  $a_{ij} = 0$ , se  $[v_i, v_j] \notin E$ , é denominada matriz de adjacência de  $G$ . Como os grafos são não direcionados,  $a_{ij} = a_{ji}$ , sendo a matriz, portanto, simétrica. No presente estudo, são utilizados grafos valorados, em que as arestas apresentam valores diferenciados. Assim, define-se a matriz de adjacência de  $G$ , de ordem  $n$ , como  $A = A(G) = [a_{ij}]$ , sendo  $a_{ij}$  equivalente ao valor de  $[v_i, v_j]$ , se  $[v_i, v_j] \in E$ , e  $a_{ij} = 0$ , se  $[v_i, v_j] \notin E$ .

O polinômio característico associado à matriz de adjacência é dado por  $p_G = \det(A(G) - \lambda I)$ , cujas raízes  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  são os autovalores de  $G$ . O maior autovalor deste

polinômio é o raio espectral da matriz  $A(G)$ , sendo denominado índice do grafo  $G$  (Del-Vecchio *et al.*, 2009).

## 2.2. Indicadores de Centralidade e Medidas Associadas

De maneira geral, a centralidade avalia a importância relativa de um vértice em uma rede (Bergiante *et al.*, 2011), e pode ser medida de diversas formas distintas, com significados e interpretações distintos. No presente estudo, são utilizadas as centralidades de informação (*degree centrality*), de autovetor (*eigenvector centrality*) e de intermediação (*betweenness centrality*).

A centralidade de informação incorpora a definição de centralidade proposta por Freeman (1979) e, numa rede de transportes, como é o caso do presente estudo, indica o grau de utilização dos elementos (Pinheiro *et al.*, 2004). Essa medida de centralidade corresponde ao número de interações ou conexões diretas que cada elemento estabelece com os demais, o que equivale ao grau do vértice em questão. Para grafos valorados, os valores das arestas incidentes no vértice em questão são considerados para o cálculo do seu grau ou da sua centralidade de informação.

Utilizando-se a matriz de adjacência do grafo, obtém-se a centralidade de informação  $C_D$  de um vértice  $v_i$ , somando-se os valores da sua linha ou coluna, como em (1).

$$C_D(v_i) = d(v_i) = \sum_{j=1}^n a_{ij} = \sum_{j=1}^n a_{ji}, \text{ onde } v_i \in V \quad (1)$$

A centralidade de autovetor incorpora a definição de centralidade proposta por Bonacich (2001), adicionando, à centralidade de um elemento, a centralidade dos elementos com ele conectados. Essa medida corresponde à combinação linear das centralidades dos vizinhos do elemento sob análise (Bonacich, 2001).

Destaca-se que, numa rede de transportes, um classificado como central sob esse aspecto é mais importante do que outro menos central, ainda que a sua centralidade de informação seja a mesma. Afinal, um problema com esse elemento afeta um maior número de elementos, do que um problema com o outro elemento.

Utilizando-se a matriz de adjacência do grafo, a centralidade de autovetor de um vértice  $v_i$  é dada por  $x_i$ , que satisfaça à equação (2), ou  $Ax = \lambda x$ , em notação matricial.

$$\lambda x_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \quad (2)$$

Em (2), as soluções de  $\lambda$  correspondem aos autovalores da matriz de adjacência, enquanto as soluções de  $(x_1, \dots, x_n)$  correspondem aos autovetores da matriz. Para calcular a centralidade dos vértices do grafo, utilizam-se as entradas do autovetor positivo unitário, associado ao maior autovalor da matriz (Bonacich, 1987).

A centralidade de intermediação se baseia no conceito de caminho geodésico, o qual corresponde à quantidade de arestas do menor caminho ligando dois vértices. Essa medida de centralidade, proposta em Freeman (1977), avalia o quanto um vértice está no caminho geodésico entre outros dois, avaliando a sua importância na passagem de informação.

Assim, a centralidade do vértice  $v$  é definida como em (3), em que  $\sigma_{i,j}$  representa a quantidade de caminhos geodésicos entre os vértices  $i$  e  $j$ , e  $\sigma_{i,j}(v)$  representa a quantidade de caminhos geodésicos entre  $i$  e  $j$  que passam por  $v$ . Em palavras, se  $v$  apresenta alto valor de centralidade de intermediação, muitos dos menores caminhos entre quaisquer dois vértices de  $V$  passam por  $v$ .

$$C_B(v) = \sum_{v \neq i \neq j \neq v} \frac{\sigma_{i,j}(v)}{\sigma_{i,j}} \quad (3)$$

Um aspecto negativo dessa medida de centralidade é que não existe garantia de que dois elementos escolham o menor caminho entre eles, por ser possível a escolha de qualquer caminho

(Everton, 2012). Por isso, Freeman *et al.* (1991) propuseram o conceito de *Flow Betweenness*, que considera todos os caminhos possíveis entre dois pontos.

A utilização desse último conceito é ainda mais essencial para grafos valorados, uma vez que a centralidade definida em (3) não considera os valores das arestas. Assim, o conceito de *Flow Betweenness* pode ser considerado uma extensão do conceito de *Betweenness* para grafos valorados, e representa o grau de importância de um vértice  $v$  para o fluxo entre dois outros vértices  $i$  e  $j$  (Freeman *et al.*, 1991).

Seja  $m_{i,j}$  o fluxo máximo do vértice  $i$  ao vértice  $j$ , e  $m_{i,j}(v)$  o fluxo máximo do vértice  $i$  ao vértice  $j$ , que passa por  $v$ . Nesse caso, a proporção do fluxo que passa por  $v$  é dada em (4). Ressalte-se que, caso seja preferível, a medida absoluta de *Flow Betweenness* é dada pelo numerador de (4), i.e.,  $\sum_{v \neq i \neq j \neq v} m_{i,j}(v)$ .

$$C'_F(v) = \frac{\sum_{v \neq i \neq j \neq v} m_{i,j}(v)}{\sum_{v \neq i \neq j \neq v} m_{i,j}} \quad (4)$$

Ressalte-se que, dentre os conceitos básicos de centralidade, não é utilizada a centralidade de proximidade (*closeness centrality*), proposta em Freeman (1977), que mede a distância geodésica total de um vértice a todos os outros na rede. Essa medida não faz muito sentido para a rede de portos estudada no presente.

### 3. Estudo de Caso

Nessa seção, é apresentado o detalhamento do presente estudo de caso. A seção 3.1 apresenta o escopo do trabalho e a base de dados utilizada, enquanto a seção 3.2 apresenta a metodologia adotada para o cálculo das medidas de centralidade.

#### 3.1. Escopo e base de dados

O presente estudo analisa a centralidade dos portos públicos e terminais de uso privado (TUPs) no sistema portuário (marítimo e fluvial) brasileiro, com base na carga não containerizada, transportada entre cada unidade portuária.

A carga containerizada não é considerada, por apresentar unidade de medida padrão diferente dos demais tipos de carga, não sendo trivial a junção de ambas. A carga containerizada é comumente medida em TEU (de *Twenty-Foot Equivalent Unit*, em inglês, ou unidade equivalente a 20 pés), enquanto os demais tipos de carga, quais sejam, carga solta, granel líquido e granel sólido, são medidos em toneladas.

Vale esclarecer que a carga geral solta é acondicionada em diversas formas e dimensões (e.g., arroz em sacas, blocos de granitos, veículos); a carga em granel líquido se refere à carga líquida transportada nos porões, sem embalagem, em grandes quantidades, movimentada em dutos, por meio de bombas (e.g., petróleo, óleos vegetais, suco); e a carga em granel sólido compõe-se de carga seca fragmentada, constituída de sólidos transportados nos porões (e.g., trigo, milho, minério de ferro, farelos, soja).

Os dados foram extraídos do Sistema de Informações Gerenciais de Acesso Público (SIG) da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ). No intuito de analisar o cenário mais atual possível, utilizam-se os dados de 2013. Entretanto, apenas os dados referentes ao período de janeiro a maio de 2013 foram confirmados pela ANTAQ, sendo esse o período considerado nesse estudo.

São apresentadas duas abordagens. A primeira considera apenas a movimentação de cargas entre portos e TUPs nacionais, enquanto a segunda considera também a movimentação que os portos internacionais tiveram com os nacionais. Vale notar que a segunda abordagem engloba a primeira, por considerar também movimentações entre unidades brasileiras.

Ressalte-se ainda que, para a segunda abordagem, somente é considerada a movimentação das unidades estrangeiras com as nacionais, não sendo considerada a

movimentação entre unidades estrangeiras. Isso porque o objetivo, inclusive da segunda abordagem, é avaliar a importância de unidades brasileiras no sistema portuário.

Com as duas abordagens, é possível comparar as centralidades em cada situação e, assim, obter informações importantes dos portos e TUPs brasileiros. Pode-se encontrar, por exemplo, quais unidades são especialistas em comércio internacional e quais realizam prioritariamente movimentações nacionais.

Na primeira abordagem, foram encontradas 94 unidades portuárias nacionais que realizaram movimentação de carga não containerizada com outras unidades nacionais, no período de janeiro a maio de 2013. Na segunda abordagem, foram encontradas 820 unidades portuárias internacionais, dentre nacionais e estrangeiras, que realizaram movimentação de carga não containerizada no período, sendo 112 unidades brasileiras. Essa diferença de unidades brasileiras em cada abordagem se dá porque 8 portos/TUPs brasileiros não realizaram movimentação com unidades nacionais, apenas estrangeiras.

Para fins de cálculo de centralidade, os portos estrangeiros foram agrupados em uma única unidade denominada “internacional”, justamente porque o cálculo da centralidade dessas unidades não pertence ao escopo do presente. Dessa forma, na segunda abordagem foram consideradas 113 unidades.

### 3.2 Cálculo de Centralidade

Para o cálculo da centralidade, foi primeiramente construída a matriz de adjacências de ambas as abordagens. Para isso, a tabela da ANTAQ que apresenta mensalmente a carga com origem em determinado porto e destino em outra foi transformada em matriz de adjacência, que indica a movimentação, ocorrida em todo o período considerado, entre o porto da linha e o porto da coluna da matriz.

Vale lembrar que a matriz de adjacência da segunda abordagem apresenta nove linhas e nove colunas a mais, em relação à matriz da primeira abordagem. Isso porque são oito unidades brasileiras que realizaram movimentação apenas com portos estrangeiros, além da unidade “internacional” que une a movimentação de cada porto brasileiro com todas as unidades estrangeiras.

Essas matrizes de adjacência foram os *inputs* para o programa UCINET (Borgatti *et al.*, 2002) calcular as medidas de centralidade: *degree centrality*, para avaliar os portos com as maiores movimentações diretas com outros portos; *eigenvector centrality*, para avaliar os portos com as maiores movimentações com portos que, por sua vez, também apresentam grande movimentação com outros portos, e sucessivamente; e *flow betweenness*, para avaliar os portos que exercem o papel de intermediário na movimentação entre portos.

## 4. Resultados e Discussões

Nessa seção serão analisados e discutidos os resultados das diferentes medidas de centralidade, calculadas pelo software UCINET. A subseção 4.1 é referente à primeira abordagem, a qual considera apenas a carga movimentada entre unidades portuárias nacionais, e a subseção 4.2 se refere à segunda abordagem, que estuda toda a carga movimentada internacionalmente, envolvendo unidades brasileiras.

### 4.1 Movimentação Nacional

Foram calculadas as três diferentes medidas de centralidade mencionadas na seção anterior para os 94 portos e TUPs nacionais que realizaram movimentação de carga não containerizada com outras unidades portuárias nacionais, no período de janeiro a maio de 2013. No intuito de facilitar a análise dos resultados, ao invés de apresentar uma única tabela com todos os resultados optou-se por apresentar os resultados em três tabelas distintas.



#	Porto / TUP	UF	Degree	Eigenvector	Flow Bet.
1	Santos	SP	3838130	0.062	1612.5
2	Vila do Conde	PA	2775140	0.706	915.6
3	Itaqui	MA	2465872	0.017	1511.6
4	TUP Porto Trombetas	PA	2324257	0.701	0.0
5	Rio Grande	RS	2102896	0.047	1410.1
6	Porto Velho	RO	1939033	0.001	330.8
7	Suape	PE	1533233	0.014	1500.1
8	Fortaleza	CE	1379739	0.008	1270.6
9	Rio de Janeiro	RJ	1367666	0.016	1507.1
10	Paranaguá	PR	1280510	0.054	1399.6
11	Vitória	ES	1267895	0.013	1060.9
12	TUP Almirante Barroso	SP	1115498	0.012	1498.0
...					
82	Fernando De Noronha	PE	4020	0.000	0.0
83	Pelotas	RS	3831	0.000	0.0
84	Monte Alegre	PA	3718	0.000	24.2
85	Itaituba	PA	3160	0.001	0.0
86	TUP Terminal Marítimo Inácio Barbosa	SE	1967	0.000	0.0
87	Icoaraci	PA	1117	0.000	0.0
88	TUP Navecunha	AM	824	0.000	0.0
89	TUP Teporti	SC	462	0.000	0.5
90	TUP Porto Itapoá	SC	451	0.000	0.0
91	TUP Ilha do Governador	RJ	331	0.000	0.0
92	TUP Tergasul	RS	282	0.000	0.0
93	TUP Brasfels	RJ	214	0.000	0.0
94	TUP Sanave	AM	62	0.000	0.1

Tabela 1: Centralidades de portos e TUPs brasileiros na abordagem nacional ordenados por *degree centrality*

A Tabela 1 apresenta alguns portos/TUPs que merecem destaque, ordenados pelo valor de *degree centrality*, mas cujos valores das demais medidas de centralidade também são apresentados. Esse cálculo confirma os diversos estudos feitos no setor portuário brasileiro, que consideram Santos como o porto brasileiro de maior influência para a economia brasileira, independente do método utilizado. Observa-se ainda que, em geral, as unidades mais centrais em termos de ligações diretas são portos, e não TUPs.

Dentre os 13 piores colocados no ranking da Tabela 1, 12 unidades portuárias, exceto TUP TEPORTI, realizaram apenas o transporte nacional. Em outras palavras, realmente, tais unidades portuárias efetuaram pouca movimentação de cargas no período.

A Tabela 2 apresenta os 10 primeiros portos e TUPs, ordenados pelo valor de *eigenvector centrality*, mas também com os valores das demais medidas de centralidade. Observa-se que, em relação aos principais portos, houve bastante modificação em relação ao ranking da Tabela 1. O porto e o TUP do Pará são as unidades mais centrais em termos de centralidade de seus vizinhos, mais do que o porto de Santos.

#	Porto / TUP	UF	Degree	Eigenvector	Flow Bet.
1	Vila do Conde	PA	2775140	0.706	915.6
2	TUP Porto Trombetas	PA	2324257	0.701	0.0
3	Santos	SP	3838130	0.062	1612.5
4	Paranaguá	PR	1280510	0.054	1399.6
5	Rio Grande	RS	2102896	0.047	1410.1
6	Itaqui	MA	2465872	0.017	1511.6
7	Rio de Janeiro	RJ	1367666	0.016	1507.1
8	Suape	PE	1533233	0.014	1500.1
9	Vitória	ES	1267895	0.013	1060.9
10	TUP Almirante Barroso	SP	1115498	0.012	1498.0

Tabela 2: Centralidades de portos e TUPs brasileiros na abordagem nacional ordenados por *eigenvector centrality*

A Tabela 3 apresenta os 10 primeiros portos e TUPs, ordenados pelo valor de *flow betweenness centrality*, também com os valores das demais medidas de centralidade. Observa-se que, novamente, houve bastante modificação em relação aos rankings das Tabelas 1 e 2.

#	Porto / TUP	UF	Degree	Eigenvector	Flow Bet.
1	Santos	SP	3838130	0.062	1612.5
2	Itaqui	MA	2465872	0.017	1511.6
3	Rio de Janeiro	RJ	1367666	0.016	1507.1
4	Suape	PE	1533233	0.014	1500.1
5	TUP Almirante Barroso	SP	1115498	0.012	1498.0
6	Belém	PA	956405	0.008	1426.7
7	Rio Grande	RS	2102896	0.047	1410.1
8	Paranaguá	PR	1280510	0.054	1399.6
9	Salvador	BA	1074284	0.008	1398.7
10	Porto Alegre	RS	490980	0.006	1290.4

Tabela 3: Centralidades de portos e TUPs brasileiros na abordagem nacional ordenados por *flow betweenness centrality*

Nesse caso, Santos retoma a dianteira, exercendo, portanto, um papel muito importante na passagem de mercadorias entre portos nacionais. As unidades Rio de Janeiro, TUP Almirante Barroso e Belém ganham posição de destaque na intermediação, apesar de serem menos relevantes em termos de movimentação direta.

Por outro lado, as unidades Vila do Conde e TUP Porto Trombetas, extremamente centrais, considerando as medidas anteriores de centralidade, perdem importância de maneira significativa com esse tipo de centralidade. Apesar de não constar da tabela 3, vale informar que Vila do Conde aparece na 18ª posição e TUP Porto Trombetas, na 60ª posição. Trata-se, portanto, de unidades que realizam grande movimentação direta e com outros portos bem conectados, porém não intermediam muitas passagens de carga, ou seja, estão em posição mais externa da rede.

#### 4.2 Movimentação Internacional

Na segunda abordagem, foram calculadas as mesmas três medidas de centralidade para os 112 portos/TUPs nacionais que realizaram movimentação de carga não containerizada com outras unidades portuárias, sejam nacionais ou estrangeiras, no período de janeiro a maio de 2013. As tabelas 4 a 6 apresentam tais resultados, ordenados pelas diferentes medidas de centralidade.

A Tabela 4 apresenta alguns portos e TUPs que merecem destaque, ordenados pelo valor de *degree centrality*, também com as demais medidas de centralidade. Deve-se notar que, considerando o transporte internacional, Santos deixa de ser o principal porto e dois TUPs assumem a liderança nesse aspecto: O TUP CVRD Tubarão, que se encontrava na 38ª posição no

ranking nacional e o TUP Ponta da Madeira, que estava na 46<sup>a</sup> posição. Trata-se portanto de portos que realizam basicamente operações internacionais.

#	Porto / TUP	UF	Degree	Eigenvector	Flow Bet.
1	TUP CVRD Tubarão	ES	28,416,910	0.179	98.0
2	TUP Ponta da Madeira	MA	27,037,998	0.171	159.2
3	Santos	SP	17,242,896	0.086	1851.7
4	Itaguaí (Sepetiba)	RJ	11,529,018	0.073	0.0
5	TUP Terminal da Ilha Guaíba	RJ	9,579,732	0.059	100.0
6	Paranaguá	PR	8,318,556	0.045	1712.4
7	TUP Ponta de Ubu	ES	6,043,236	0.037	98.0
8	Vila do Conde	PA	5,169,894	0.016	1450.3
9	Itaqui	MA	5,130,185	0.017	1734.2
10	Rio Grande	RS	4,841,230	0.017	1600.7
11	TUP Porto Trombetas	PA	4,569,612	0.014	100.0
12	São Francisco do Sul	SC	3,267,515	0.014	146.0
13	Suape	PE	2,498,701	0.006	1549.2
14	TUP Almirante Maximiano da Fonseca	RJ	1,990,528	0.012	1346.0
15	Aratu	BA	1,956,656	0.008	820.0
16	TUP Hermasa Graneleiro	AM	1,949,874	0.005	472.0
17	Rio de Janeiro	RJ	1,949,798	0.004	1675.2
18	Porto Velho	RO	1,939,033	0.000	389.2
	...				
94	TUP Fibría	BA	12,037	0.000	0.0
95	TUP Terminal Aquaviário Barra do Riacho - TABR	ES	11,189	0.000	1129.4
96	Salvaterra	PA	8,861	0.000	0.0
97	TUP GE Oil & Gas do Brasil	RJ	8,159	0.000	0.0
98	TUP Ilha Redonda	RJ	7,178	0.000	0.0
99	TUP Bertolini Belém	PA	6,064	0.000	0.0
100	TUP de GNL da Baía da Guanabara	RJ	4,715	0.000	0.0
101	Fernando De Noronha	PE	4,020	0.000	0.0
102	Pelotas	RS	3,831	0.000	0.0
103	Monte Alegre	PA	3,718	0.000	0.0
104	Itaituba	PA	3,160	0.000	0.0
105	TUP Terminal Marítimo Inácio Barbosa	SE	1,967	0.000	0.0
106	Icoaraci	PA	1,117	0.000	0.0
107	TUP Navecunha	AM	824	0.000	0.0
108	TUP Porto Itapoá	SC	451	0.000	0.0
109	TUP Ilha do Governador	RJ	331	0.000	0.0
110	TUP Tergasul	RS	282	0.000	0.0
111	TUP Brasfels	RJ	214	0.000	0.0
112	TUP Sanave	AM	62	0.000	0.0

Tabela 4: Centralidades de portos e TUPs brasileiros na abordagem internacional ordenados pela *degree centrality*

Numa análise dos dados originais desses portos, é possível concluir que todas as operações internacionais do primeiro TUP foram de exportação, e que as mesmas correspondem a 99.96% do total, em termos de carga total movimentada. Além disso, 62,8% do total de suas operações foram destinadas a portos dos países China (37%), Holanda (14,9%), Omã (10,9%). Em relação ao TUP maranhense, 0,5% da carga foi movimentada com outras unidades nacionais, e 99,5% da carga total foi exportada, sendo 51,9% para a China, 12,3% para Filipinas e 9,7% para a Holanda.

Outra ponto de atenção é o porto de Itaguaí, muito relevante para o comércio internacional, não tendo, porém, realizado qualquer movimentação doméstica – esse é um dos 8 portos que não estão presentes na primeira abordagem. De toda a carga movimentado, 93,3% é exportação, da qual 54,6% é destinada à China.

Observa-se, ainda, a importância dos TUPs no comércio internacional, diferentemente do ocorrido no comércio nacional. Aliás, para boa parte dos TUPs melhor colocados na tabela 4, mais de 95% da carga movimentada com unidades estrangeiras. As exceções são TUP Porto



Trombetas, que exerce função central na movimentação nacional, conforme tabela 1, e TUP Hermosa Graneleiro. Para ambos, cerca de 50% da carga movimentada é nacional.

Por outro lado, os portos brasileiros tendem a realizar uma parcela significativa de movimentação nacional, com exceção do já mencionado porto de Itaguaí. A movimentação nacional representa 22% da carga total para Santos e 15% para o porto de Paranaguá. Para os demais portos bem colocados na tabela 4, a movimentação nacional representa mais de 30% da carga total.

Ressalte-se que para o Rio de Janeiro tal proporção é de 70%, e para Porto Velho, de 100%. A especialização do Rio de Janeiro pode ser justificada pela característica de Itaguaí, de movimentar exclusivamente carga internacional, haja vista a proximidade de ambos os portos, enquanto a especialização absoluta de Porto Velho pode ser justificada pela sua localização geográfica.

Nota-se ainda que a lista dos piores colocados da tabela 4 é quase idêntica àquela da tabela 1. Aliás, todas as unidades posicionadas de 94 a 112 na tabela 4 realizaram exclusivamente movimentação nacional, no período estudado. Dessa forma, pode-se inferir que o comércio internacional é somente realizado por unidades relativamente robustas, com capacidade para movimentar certo nível de carga.

A Tabela 5 apresenta os 10 primeiros portos e TUPs, ordenados pelo valor de *eigenvector centrality*. Diferente da primeira abordagem, não houve mudanças significativas entre as ordenações das tabelas 4 e 5. Em outras palavras, as unidades mais relevantes em termos de conexões diretas com outras unidades, também são as mais relevantes em termos de conexões de seus vizinhos.

#	Porto / TUP	UF	Degree	Eigenvector	Flow Bet.
1	TUP CVRD Tubarão	ES	28,416,910	0.179	98.0
2	TUP Ponta da Madeira	MA	27,037,998	0.171	159.2
3	Santos	SP	17,242,896	0.086	1851.7
4	Itaguaí (Sepetiba)	RJ	11,529,018	0.073	0.0
5	TUP Terminal da Ilha Guaíba	RJ	9,579,732	0.059	100.0
6	Paranaguá	PR	8,318,556	0.045	1712.4
7	TUP Ponta de Ubu	ES	6,043,236	0.037	98.0
8	Itaqui	MA	5,130,185	0.017	1734.2
9	Rio Grande	RS	4,841,230	0.017	1600.7
10	Vila do Conde	PA	5,169,894	0.016	1450.3

Tabela 5: Centralidades de portos e TUPs brasileiros, na abordagem internacional, ordenados pela *eigenvector centrality*

A Tabela 6 apresenta os 10 primeiros portos/TUPs, ordenados pelo valor de *flow betweenness centrality*. Observa-se que, nesse caso, houve bastante modificação em relação aos rankings das Tabelas 4 e 5.

#	Porto / TUP	UF	Degree	Eigenvector	Flow Bet.
1	Santos	SP	17,242,896	0.086	1851.7
2	Itaqui	MA	5,130,185	0.017	1734.2
3	Paranaguá	PR	8,318,556	0.045	1712.4
4	Rio de Janeiro	RJ	1,949,798	0.004	1675.2
5	Vitória	ES	1,714,280	0.003	1664.9
6	Belém	PA	1,085,432	0.001	1641.7
7	TUP Almirante Barroso	SP	1,158,808	0.000	1613.8
8	Salvador	BA	1,235,967	0.001	1609.5
9	Manaus	AM	1,021,909	0.000	1607.4
10	Rio Grande	RS	4,841,230	0.017	1600.7

Tabela 6: Centralidades de portos e TUPs brasileiros na abordagem internacional ordenados pela *flow betweenness centrality*

Nessa ordenação, o porto de Santos retoma a dianteira, bem como os demais portos públicos, de maneira geral. A exceção é, novamente, o TUP Almirante Barroso, o qual aparece em posição de destaque, como ocorreu nas ordenações da primeira abordagem. O primeiro e o segundo colocados nas tabelas 4 e 5 ficaram em 49<sup>o</sup> e 41<sup>o</sup>, respectivamente, na ordenação da tabela 6.

De maneira geral, a tabela 6 é bastante semelhante à tabela 3 da primeira abordagem. Em outras palavras, apesar de haver várias unidades, em sua maioria TUPs, especializadas no comércio estrangeiro, as unidades mais centrais, no aspecto de intermediação entre outras unidades, são as mesmas, seja considerando apenas a movimentação nacional, seja considerando toda a movimentação internacional.

## 5. Conclusão

Este estudo analisou a centralidade das unidades portuárias brasileiras, incluindo portos e TUPs, com base na movimentação total de carga não containerizada, no período de janeiro a maio de 2013. Foram estudadas duas abordagens: a primeira considerou apenas a movimentação de carga nacional, e a segunda considerou toda a movimentação internacional que envolveu unidades portuárias brasileiras.

Com esse estudo, foi possível conhecer os portos e TUPs mais centrais, sob o aspecto de movimentação direta com outras unidades (*degree centrality*), sob o aspecto de ligações com vizinhos também centrais (*eigenvector centrality*) e sob o aspecto de intermediação do fluxo entre outras unidades (*flow betweenness centrality*), para cada uma das abordagens.

Observou-se que as diferentes medidas de centralidade levam a ordenações distintas na abordagem nacional. Assim, a rede portuária, nessa primeira abordagem, apresenta centros diferentes, dependendo da característica analisada. Já na abordagem internacional, foi possível notar que as medidas de centralidade *degree centrality* e *eigenvector centrality* geraram ordenações bastante semelhantes entre si. A terceira medida de centralidade se distanciou bastante dessas, mas se aproximou muito da ordenação de *flow betweenness centrality* da abordagem nacional. Dessa forma, conclui-se que diversas unidades, muito centrais quando se considera toda a movimentação internacional, não intermediaram grandes fluxos entre outros portos, posicionando-se de maneira mais externa na rede portuária brasileira.

Mais especificamente, vale ressaltar o porto de Santos, reconhecido como o porto mais importante do Brasil (ALESP, 2011; Previdelli, 2012). Notou-se que Santos apresenta, de fato, o maior número de ligações diretas, na abordagem nacional. Entretanto, os vizinhos de Santos não são muito centrais, o que justifica a sua queda no ranking de autovetor. Porém, tal porto é o mais importante na intermediação entre outros portos, em ambas as abordagens. Assim, apesar de não ser o mais central em termos de ligações diretas ou de ligações com vizinhos centrais, na abordagem internacional, Santos é de extrema importância na abordagem internacional, por realizar a intermediação entre portos especializados em comércio internacional.

Tais observações permitem que concluir que medidas distintas de centralidade revelam características distintas da rede portuária, o que torna importante o cálculo de diversas medidas de centralidade, com foi feito no presente estudo.

Observou-se ainda que diversos TUPs tornam-se muito centrais na abordagem internacional, com destaque para o TUP CVRD Tubarão, do Espírito Santo, e o TUP Ponta da Madeira do Maranhão. Esses e outros TUPs especializaram-se na movimentação com portos estrangeiros, no período estudado.

Por outro lado, portos públicos tendem a ser mais centrais na movimentação com outras unidades brasileiras, embora alguns TUPs também sejam centrais nessa primeira abordagem, como o TUP Porto Trombetas, do Pará, e o TUP Almirante Barroso, de São Paulo. Outra exceção muito importante é o Porto de Itaguaí, no Rio de Janeiro, que não realizou qualquer movimentação nacional, no período estudado. Ademais, os portos Santos, em São Paulo, e Paranaguá, no Paraná, extremamente importantes, tanto no comércio nacional, quanto no nacional, movimentaram apenas cerca de 20% da carga total com outras unidades brasileiras. Salvo esses casos, para os demais portos públicos, mais de 30% da carga é movimentada

internamente. Os casos extremos são o porto do Rio de Janeiro, cuja movimentação nacional representa 70% do total, e Porto Velho, com 100% de movimentação nacional.

Estudos futuros podem realizar análises em outros períodos para avaliar se as informações extraídas do presente são de fato consistentes ao longo do tempo, se foram se modificando ao longo do tempo ou se são eventos isolados. Caso sejam consistentes, ainda poderia ser observado se os TUPs mais centrais, de acordo com o presente estudo, são mantidos em outros períodos ou se são outros TUPs.

Futuramente, pode-se analisar ainda o motivo da especialização em um tipo de movimentação, seja a nacional ou a internacional, de alguns portos e TUPs. Com isso, seria possível concluir se é vantajoso, para a unidade portuária, manter essa característica ou se seria recomendável estimular a movimentação doméstica de carga.

### Agradecimentos

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

### Referências Bibliográficas

- ALESP** (2011) Santos abriga o maior porto da América Latina. 28 de Julho, <http://www.al.sp.gov.br/noticia/?id=260023>, acesso em 8 de março de 2015.
- Bergiante, N.C.R., Soares de Mello, J.C.C.B., Nunes, M.V.R., Paschoalino F.F.** (2011) Aplicação de uma proposta de medida de centralidade para avaliação de malha aérea de uma empresa do setor de transporte aéreo brasileiro, *Journal of Transport Literature*, 5(4), 119-135.
- Bonacich, P.** (1987) Power and Centrality: A Family of Measures. *The American Journal of Sociology*, 92(5), 1170-1182.
- Bonacich, P.** (2001) Eigenvector-like measures of centrality for asymmetric relations. *Social Networks*, 23, 191-201.
- Borgatti, S.P., Everett, M.G., Freeman, L.C.** (2002) *Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard, MA: Analytic Technologies.
- Briano, E., Caballini, C., Mosca, R., Revetria, R., Testa, A.** (2010) Guidelines and perspectives to enhance Italian port competitiveness. *WSEAS Transactions on Systems* 9(9), 948-958.
- Caillaux, M.A., Sant'anna, A.P., Angulo-Meza, L., Soares de Mello, J.C.C.B.** (2011) Container logistics in Mercosur: Choice of a transshipment port using ordinal Copeland method, Data Envelopment Analysis and Probabilistic Composition. *Maritime Economics & Logistics*, 13(4), 355-370.
- Del-Vecchio, R.R., Galvão, D.J.C., Silva, L., de Lima, R.F.V.L.** (2009) Medidas de Centralidade da Teoria dos Grafos aplicada a Fundos de Ações no Brasil. Em: *XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Porto Seguro, Brasil, 1-4 de Setembro de 2009.
- Everton, S.F.** (2012) *Disrupting Dark Networks (Structural Analysis in the Social Sciences)*. Cambridge University Press, New York, NY, USA.
- Falcão, V.A., Correia, A.R.** (2012) Eficiência portuária: análise das principais metodologias para o caso dos portos brasileiros. *Journal of Transport Literature*, 6(4), 33-146.
- Feofiloff, P., Kohayakawa, Y., Wakabayashi, Y.** (2004) Uma Introdução Sucinta à Teoria dos Grafos. Em: *II Bienal da Sociedade Brasileira de Matemática*, Salvador, Brasil, 25-29 de Outubro de 2004.
- Freeman, L.C.** (1977) A set of measurements of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 40(1), 35-41.
- Freeman, L.C.** (1979) Centrality in networks: I Conceptual clarification. *Social Networks*, 1, 215-239.
- Freeman, L.C., Borgatti, S.P., White, D.R.** (1991) Centrality in valued graphs: A measure of betweenness based on network flow. *Social Networks*, 13, 141-154.

**Pinheiro, M.C., Ribeiro, P.G., Soares de Mello J.C.C.B** (2004) Uma análise do sistema metrô-ferroviário de Lisboa com grafos multiaresta. *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção*, 4, 12-19.

**Previdelli, A.** (2012) Os 12 melhores portos públicos brasileiros. Exame.com, 1º de novembro, <http://exame.abril.com.br/brasil/noticias/os-12-melhores-portos-publicos-brasileiros>, acesso em 8 de março de 2015.

**Rubem, A.P.S., Brandão, L.C., Soares de Mello, J.C.C.B.** (2014) Avaliação de Unidades Portuárias Brasileiras com Análise Envoltória de Dados e o Método Copeland. Em: *XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, Curitiba, Brasil, 24-28 de Novembro de 2014.

