

A MEDIDA DE CENTRALIDADE POR PROXIMIDADE E SUAS RELAÇÕES COM A FORMA URBANA

Daniel Trindade Paim

Universidade Federal de Santa Catarina.

Especialização em Docência no Ensino Superior pelo Centro Universitário Senac (2017), Mestrado em Arquitetura e Urbanismo pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU) da Universidade Federal de Pelotas - UFPel (2015). Doutorando no Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina.

E-mail: danieltripaim@yahoo.com.br

Ana Paula Neto de Faria

Universidade Federal de Pelotas.

Mestrado no Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2002) e doutorado em Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2010). Atualmente, é Professora da Universidade Federal de Pelotas e Coordenador do Curso de Arquitetura e Urbanis da Universidade Federal de Pelotas.

E-mail: apnfaria@gmail.com

Resumo

O presente trabalho verifica se o padrão distributivo estatístico da medida de Centralidade por Proximidade consegue descrever aspectos como compactação/fragmentação da forma da cidade e irregularidade da rede urbana. Foram selecionadas 29 cidades brasileiras de porte semelhante com padrões de vias e mancha urbana variados. Os sistemas urbanos foram descritos por seus centros de vias representados por meio de grafos, a fim de analisar as correlações entre a medida e os aspectos urbanos descritos. Observou-se que o padrão distributivo da medida é fortemente influenciado pela compacidade da forma urbana e diretamente relacionado à maior ou menor presença de vazios urbanos. Também apresentou relações com a irregularidade da rede, entendida

como o nível hierárquico do traçado viário em termos conectivos. Cidades mais compactas e mais irregulares (enquanto redes) possuem melhores índices gerais com a medida. Os resultados alcançados até o momento sugerem que o uso de descritores do comportamento agregado da medida Centralidade por Proximidade pode ser um bom indicador de características mais globais da estrutura morfológica urbana.

Palavras-chave: Centralidade por Proximidade; Compacidade; Irregularidade.

Abstract: The measure of Closeness Centrality and its relations whit the urban form

100

This study verifies if the statistical distributive pattern of the measure of Closeness Centrality can describe aspects such as compaction/fragmentation of the form of the city and irregularity of the urban network. 29 Brazilian cities of similar size were selected with morphological patterns of road and conformation of the urban area quite distinct. The urban systems were described by their road center lines represented by means of graphs, in order to analyze the correlations between the measure and the urban aspects described. It was observed that the distributive pattern of the measure is strongly influenced by the compactness of the urban form and directly related to the greater or lesser presence of urban voids. It also presented relations with the irregularity of the urban network, understood as the hierarchical level of the road layout in connective terms. More compact and more irregular cities (as networks) have better general overall indices with the measure. The results achieved so far suggest demonstrating that the use of descriptors of the aggregate behavior of the measure of Closeness Centrality can be a good indicator of more global characteristics of the urban morphological structure.

Keywords: Closeness Centrality; Compactness; Irregularity.

1. INTRODUÇÃO

Este estudo está inserido na área da morfologia urbana, com ênfase nos estudos configuracionais urbanos, que entendem as cidades como sistemas e investigam os aspectos estruturais das relações mantidas entre espaços urbanos, ou desses com as edificações. Nesses estudos, as análises que se baseiam na representação espacial com base em um grafo utilizam um conjunto restrito de medidas com o intuito de descrever a estrutura urbana a partir das características de cada componente dentro do todo. Tal descrição caracteriza-se pelo modo em como os valores da medida distribuem-se ao longo do sistema, sendo o comportamento do sistema compreendido através de uma análise visual ou por meio de correlações de ranking dos componentes com aspectos não morfológicos do sistema urbano.

Em outras áreas de estudo, as quais também utilizam os grafos para entender o comportamento de sistemas através de descrições da estrutura configuracional, são utilizados procedimentos que procuram descrever o sistema como um todo ao se considerar o comportamento

agregado das partes (Watts & Strogatz, 1998; Barabási & Albert, 1999; Gastner & Newman, 2006). Estas abordagens empregam técnicas estatísticas para a definição de valores, medidas ou índices que representam o comportamento agregado dos componentes do sistema. Tais procedimentos têm se mostrado úteis em estabelecer classes gerais de comportamento em sistemas complexos. No entanto, este tipo de abordagem ainda é pouco comum nos estudos urbanos.

Esta pesquisa investiga se esse tipo de procedimento também é capaz de caracterizar aspectos gerais dos sistemas urbanos ao se analisar o comportamento agregado da medida de Centralidade por Proximidade, seu conceito geral é muito utilizado nos estudos urbanos e essa é também conhecida genericamente por medida de Acessibilidade. Mais particularmente, este estudo pretende verificar se o comportamento agregado dessa medida, enquanto descritora do sistema urbano como um todo, consegue refletir aspectos gerais da forma urbana, como a compacidade da forma da cidade e a irregularidade da rede urbana.

2. CONCEITOS E METODOLOGIA

2.1. Medida de Centralidade por Proximidade

A medida de Centralidade por Proximidade é uma das medidas de diferenciação espacial, as quais definem critérios de ordenação para os espaços a partir de sua diferenciação em termos de posição relativa dentro do sistema. A medida define o quão facilmente um espaço urbano pode ser alcançado, a partir de qualquer outro na rede. Partindo desse princípio, os espaços privilegiados são aqueles que estão mais próximos aos demais topologicamente, ou seja, aquele que estiver, em média, mais perto de todos os outros possui uma maior “acessibilidade” dentro do sistema.

A medida de Centralidade por Proximidade ou Acessibilidade (A) é uma variante da medida de Integração, que pode ser demonstrada pela equação um (1), sendo o cálculo da acessibilidade o inverso da distância topológica entre i e j , sendo $i \neq j$. Conforme Faria (2010), os valores absolutos da medida apresentam algumas dificuldades para realizar certas comparações no comportamento de grafos com número de componentes diferentes, portanto, a medida tem uma versão normalizada com base no valor máximo que um vértice pode possuir em um grafo completo de mesma ordem. A acessibilidade normalizada é descrita pela Equação dois (2), onde i é todo o vértice da rede diferente do vértice i e d_{ij} é a distância topológica entre i e j , o número de vértices do grafo.

$$A_i = \sum_{\substack{j \in G \\ i \neq j}}^n \frac{1}{d_{ij}}$$

Equação 1: Medida de Acessibilidade

$$A_{Ri} = \frac{\sum_{\substack{j \in G \\ i \neq j}} \frac{1}{d_{ij}}}{N - 1}$$

Equação 2: Acessibilidade normalizada

O propósito da normalização é minimizar os problemas causados pelo uso de unidades e dispersões distintas entre as variáveis e tem como objetivo ajustar as escalas de valores dos atributos para o mesmo intervalo, por exemplo: -1 a 1 , 0 a 1 , etc. Além de facilitar a comparação de dados dessa medida com os dados de outras medidas (Paim, 2015).

As medidas de diferenciação espacial, de maneira geral, podem apresentar diversos padrões de distribuição estatística para os sistemas urbanos, podendo depender do critério de representação espacial, como também da própria natureza da medida. Para a medida de Centralidade por Proximidade, independente das características do sistema representado, o padrão estatístico é aproximadamente uma distribuição Gaussiana, também conhecida por distribuição de Gauss ou distribuição Normal.

A distribuição Normal é uma distribuição de frequências onde a maioria dos valores das informações se concentra em torno da média e diminuem simétrica e gradativamente no sentido dos extremos, podendo ser descrita por dois parâmetros: a média (μ) que determina o centro de distribuição, e o desvio padrão (σ) definido pela raiz quadrada positiva da variância e expresso pela mesma unidade de medida dos dados. O valor de tendência da rede é descrito pela média, enquanto que o nível de concentração junto a essa média é representado pelo desvio padrão.

2.2. Discretização do espaço urbano

O espaço é infinito e contínuo, portanto, para se fazer uma análise da morfologia urbana é preciso defini-lo em termos de porções finitas. A discretização do espaço urbano consiste no processo de se dividir o espaço urbano em unidades finitas e delimitáveis. Na morfologia

urbana tradicional tem-se a delimitação dessas divisões como lotes, quadras e o espaço público. No entanto, na modelagem computacional, esses critérios precisam ser rígidos e específicos, de acordo com o objeto de estudo e passíveis de replicação em outras cidades. Segundo Faria (2010), nos estudos intra-urbanos são identificados três critérios de discretização do espaço urbano:

- a) a manutenção da natureza geográfica do sistema: por ser essencialmente uma estrutura imersa em um plano o espaço urbano pode ser representado por um grafo, mesmo que seus limites não se atenham a bidimensionalidade da superfície terrestre. Nesse quesito, tem-se apenas um tipo de representação no sistema urbano, onde as intersecções e extremidades das vias são definidas como vértices e os trechos entre essas como arestas;
- b) a descrição por unidades morfológicas mínimas: descritas como trechos de vias, unidades de espaço definidas como o trecho de espaço público contido entre intersecções de vias, onde existe a possibilidade de mudar de direção no sistema urbano;
- c) a descrição por unidades morfológicas máximas: podem ser linhas de máxima continuidade ou linhas axiais. As primeiras são um agregado de linhas axiais que representam um caminho na sua máxima dimensão linear, respeitando um limite de angularidade pré-definido. As segundas são definidas como a menor quantidade das maiores linhas retas capazes de cobrir todo o sistema de espaços abertos.

Adotado neste trabalho, tem-se os centros de via, uma variante das linhas axiais, que também cobrem todo o sistema de espaços abertos utilizando-se da menor quantidade das maiores linhas retas, porém diferentemente dos mapas axiais, representam todas as ruas, intersecções, rótulas e outros caminhos, tendo como base os centros de cada via e seguindo sua angulação, assim, representam todo o sistema viário de uma cidade e facilitam a representação espacial a ser estudada.

2.3. Compacidade da forma urbana

A compacidade da forma urbana é determinada pela distribuição geográfica da conformação do território da cidade, pois as cidades podem estar espalhadas no território de maneira mais ou menos contínua, estando mais concentradas/compactadas ou mais dispersas (Hillier, 2002). A compacidade da forma urbana pode ser descrita pela relação entre a área ocupada pela urbanização e seu perímetro. Existem diferentes formas de definir essa relação entre área e perímetro.

A fragmentação urbana é considerada por muitos uma deficiência, principalmente com relação aos fluxos urbanos, pois aumentam as distâncias internas da cidade causando maiores custos para deslocamentos. No entanto, Polidori e Krafta (2003) não consideram a fragmentação urbana nem um problema nem uma qualidade. Para esses autores o nível de compacidade/

fragmentação das cidades é entendido como um processo dinâmico que tem garantido a continuidade do espaço urbano ao longo dos anos.

Dentro do entendimento de que o nível de compacidade/fragmentação da cidade é um processo dinâmico relacionado com a continuidade do sistema urbano por um lado e, com a questão das distâncias internas da cidade por outro, é provável que a mesma apresente uma relação com o padrão geral de Centralidade por Proximidade apresentado pelo sistema urbano.

2.4. Irregularidade da rede urbana

104

Um grafo é chamado de regular quando todos os seus vértices obtiverem o mesmo *grau do vértice*, que é caracterizado pelo número de arestas incidentes em cada vértice, ou similarmente é o número de vértices adjacentes a ele. O grafo é dito irregular quando não existe o mesmo *grau do vértice* em todos os vértices do sistema (Chartrand, Erdős & Oellermann, 1988). As primeiras abordagens que discutem sobre a irregularidade dos grafos estão mais centradas em definir os grafos como “mais ou menos irregulares” através de um determinado critério e não são voltadas para medir a irregularidade dos grafos através da definição de valores.

Inicialmente, o conceito que obteve mais atenção foi o de *grafo altamente irregular*, representado por um grafo cujos vértices possuem todos os graus dos vértices diferentes (Alavi et al., 1987; Dimitrov, Brandt & Abdo, 2014). Posteriormente, os trabalhos de Collatz and Sinogowitz (1957), Bell (1992), Albertson (1997), Nikiforov (2006) e Abdo and Dimitrov (2012) destacaram-se por propor definições de medidas de irregularidade, embora ainda hoje não se tenha clareza de qual método é mais adequado para medir a irregularidade dos grafos. Dentre esses estudos, o que mais se caracterizou como adequado para medir a irregularidade da rede urbana é o método de Nikiforov (2006), por ser uma das medidas de fácil aplicabilidade. Essa medida mede a irregularidade de um grafo por meio da variação do número de conexões que cada vértice do sistema tem em relação à média da rede.

Para o sistema urbano, descrito por unidades morfológicas máximas, a medida de irregularidade de Nikiforov (2006) pode ser considerada uma indicadora do grau de hierarquização presente na estrutura viária.

3. METODOLOGIA

Os estudos de Hillier (2002) e de Medeiros (2006) indicam que determinadas características da forma urbana podem influenciar no comportamento da medida de Integração e afetar seus resultados, por isso, para este estudo, são selecionadas cidades de porte semelhante a fim de

reduzir a influência exercida pelo tamanho das cidades nas características de conformação de seu sistema viário e, conseqüentemente, nas avaliações do comportamento da medida.

A amostra das cidades brasileiras para o estudo baseou-se no censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE] (2010). Dentre as cidades selecionadas, estão as que possuem população entre 200.000 e 350.000 habitantes, porém, foram retiradas da pesquisa todas aquelas pertencentes a regiões metropolitanas ou conurbações, uma vez que se torna inviável representar separadamente estruturas urbanas de cidades que estão fisicamente unidas a outra(s) cidade(s), o que prejudicaria a avaliação do comportamento de cada sistema. Por fim, são mantidas 29 cidades, listadas a seguir: Anápolis - GO; Arapiraca - AL; Bauru - SP; Boa Vista - RR; Camaçari - BA; Caruaru - PE; Cascavel - PR; Divinópolis - MG; Foz do Iguaçu - PR; Franca - SP; Governador Valadares - MG; Guarujá - SP; Imperatriz - MA; Itabuna - BA; Limeira - SP; Marabá - PA; Marília - SP; Mossoró - RN; Palmas - TO; Pelotas - RS; Petrolina - PE; Ponta Grossa - PR; Rio Branco - AC; Santa Maria - RS; Santarém - PA; São Carlos - SP; Sete Lagoas - MG; Uberaba - MG e Vitória da Conquista - BA.

Para a representação das cidades utilizou-se imagens de satélite georreferenciadas, sendo essas imagens datadas do final de 2013 até meados de 2014, isto é, caracterizando o estado de cada cidade num dado momento no tempo. Com base nessas imagens são definidos os perímetros das áreas ocupadas por cada cidade, seus vazios urbanos e a representação de seu sistema de vias de circulação. Como também são definidos os indicadores quantitativos capazes de ordenar as cidades em mais ou menos compactas e irregulares.

3.1. Definição dos perímetros e vazios urbanos

Os perímetros das áreas ocupadas por cada cidade são definidos com base nos seguintes critérios:

- a) os núcleos urbanos afastados que possuem mais de 150 edificações ou mais de 10 quarteirões, independente da distância, são acrescidos ao perímetro do núcleo urbano principal, assim como as vias que dão acesso a esses núcleos;
- b) os núcleos urbanos afastados que possuem de 50 a 150 edificações ou de cinco a 10 quarteirões, somente são somados ao perímetro, quando não ultrapassam a distância de dois quilômetros e 500 metros do núcleo urbano principal;
- c) o perímetro acompanha os eixos de via que saem dos núcleos urbanos até 500 metros caso não se perpetue nenhuma das duas situações descritas acima. A exceção ocorre quando esses eixos de via se conectam com outras partes distantes da cidade;
- d) todas as ruas com construções são demarcadas, bem como vias particulares suburbanas com edificações adjacentes. Contudo, as vias particulares suburbanas são desconsideradas quando não atendem nenhum dos critérios anteriores;

Para efeitos deste estudo são considerados como vazios urbanos as áreas desocupadas, rodeadas de vias e/ou áreas efetivamente urbanizadas, toda vez que essas áreas ultrapassam 500 metros em uma de suas dimensões. Como exemplo tem-se a Figura um (1):

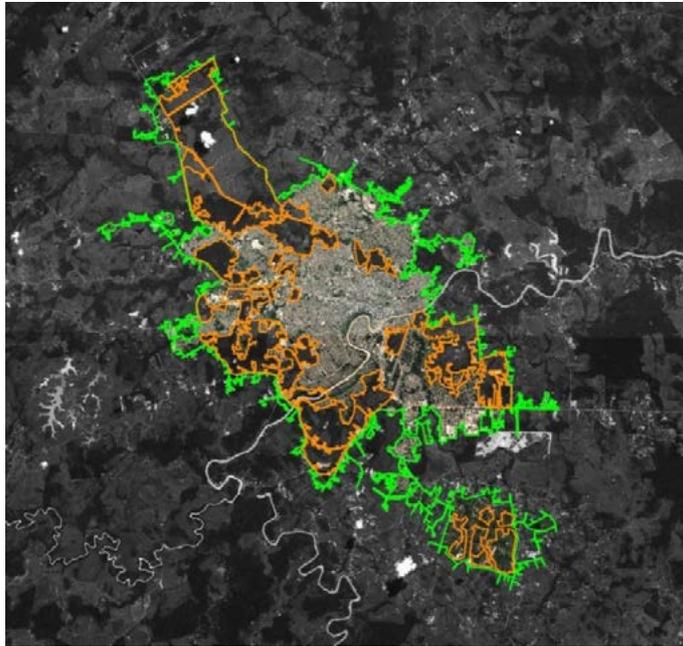


Figura 1 – Delimitação do perímetro das áreas ocupadas por cada cidade em verde e marcação dos vazios urbanos em laranja, exemplo: Rio Branco - AC.

Fonte: Autor (2015).

3.2. Definição dos mapas urbanos

Os desenhos dos sistemas de vias de circulação por segmentos de retas são realizados usando como critério os centros de via. Assim, são desenhadas todas as ruas, bem como suas intersecções, rótulas e outros caminhos conforme os critérios utilizados nas representações dos mapas, destacados a seguir:

- a) nas vias que possuem canteiro central, os leitos carroçáveis são desenhados separadamente, ou seja, por linhas duplas;
- b) todos os eixos são representados por segmentos de retas, mesmo as linhas curvas;
- c) quando houver cruzamentos de vias (como túneis, viadutos e outros) que não se conectam na realidade e, em menos de 300 metros, houver uma ou mais conexões, as linhas cruzadas são mantidas, porque existe uma conexão real nas imediações de modo a simplificar a representação do sistema sem distorcer em excesso os resultados globais;
- d) quando não houver em menos de 300 metros essas conexões são feitas adaptações no sistema de modo a manter as conexões existentes e não desfazer o cruzamento daquelas que na realidade não estão conectadas, ou seja, estão apenas sobrepostas;

- e) os calçadões que possuem importância na malha viária são desenhados, enquanto que os largos, as praças e os calçadões de orla de praia (paralelos a vias) não são representados, pois funcionam mais como espaços convexos, de maneira a pouco acrescentar às ruas já existentes características em termos de movimentação;
- f) todo o sistema viário contido dentro do perímetro urbano é representado;
- g) as vias particulares urbanas ou suburbanas são desconsideradas quando não possuem edificações adjacentes e quando fora do perímetro urbano, porém são mantidas todas as ruas em conjuntos habitacionais, loteamentos e condomínios fechados e abertos.

A Figura dois (2) apresenta o sistema de vias de uma das cidades da amostra:

107

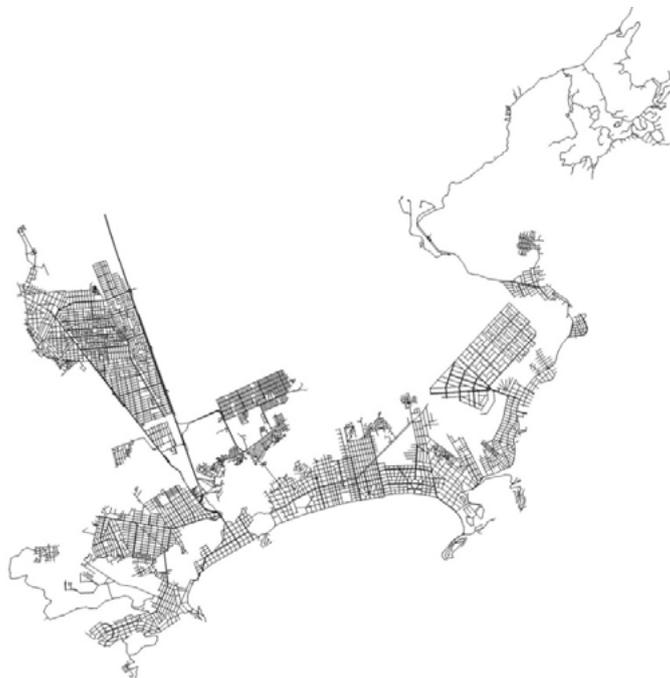


Figura 2 – Mapa axial da cidade de Guarujá - SP.

Fonte: Autor (2015).

3.3. Compacidade da forma urbana

Para definir o grau de compacidade da forma urbana são adotados três indicadores: Indicador de Continuidade, Índice de Compacidade e Medida de Compacidade Urbana.

O Indicador de Continuidade define a compacidade por meio da comparação do perímetro do assentamento urbano (P) com o perímetro do polígono convexo mínimo (P_c) que o contém, considerando os vazios urbanos. A medida varia de 0 a 1, o limite superior indica que a cidade coincide com seu polígono convexo mínimo, sem reentrâncias ou vazios internos, já o limite inferior significa, hipoteticamente, uma máxima fragmentação. Quanto maior o valor do

indicador, menos fragmentado é o assentamento urbano (Krafta, 2014). Expresso pela Equação três (3):

$$I_{cont}(U) = \frac{2p_{conv}}{2p_u}$$

Equação 3: Indicador de Continuidade.

108

O segundo indicador é o Índice de Compacidade, definido pela relação do perímetro da área ocupada pelo elemento em evidência e pelo perímetro de um círculo de mesma área (Christofoletti, 1980). Quanto mais próximo de um círculo for a forma do elemento, que é o formato geométrico mais compacto, mais próximo da unidade é o índice de compacidade, que é uma medida adimensional e que varia independente do tamanho, isto é, varia apenas de acordo com a forma. Conforme Equação quatro (4):

$$K_c \cong 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Equação 4: Índice de Compacidade.

A terceira medida é uma adaptação do segundo indicador, criada para contemplar a presença de vazios urbanos não contemplados pelo anterior. Sua definição também relaciona o perímetro da área ocupada pelo elemento de estudo com o perímetro de círculo de mesma área, porém os valores dos perímetros dos vazios urbanos são somados ao valor do perímetro externo da forma urbana e as áreas desses vazios são subtraídas da área da forma urbana. Semelhante à medida anterior, as cidades mais compactas são aquelas que possuem o valor mais próximo de um (Paim, 2015). A seguir, a Equação da Medida de Compacidade Urbana:

$$M_c = 0,282 \frac{(P + \sum P_{vu})}{\sqrt{(A - \sum A_{vu})}}$$

Equação 5: Medida de Compacidade Urbana.

3.4. Irregularidade da rede espacial urbana

A medida de irregularidade da rede urbana é definida pelo método de Nikiforov (2006), que mede o grau de irregularidade de um grafo através da variação do número de conexões que cada vértice do sistema tem em relação à média da rede. A medida de Nikiforov (2006) é definida como a *medida de desvio dos graus* e é representada pela soma do valor absoluto das diferenças entre o grau dos vértices e a média dos graus do sistema G . Descrita pela Equação seis (6) seguinte:

$$s(G) = \sum_i |d_i - \bar{d}|$$

Equação 6: Medida de Irregularidade da rede urbana.

Onde se refere ao Grau do Vértice do vértice e é a média do Grau do Vértice do vértice G , sendo \bar{d} a média dos graus de G . Sendo m o número de arestas e n o número de vértices. Essa fórmula está expressa em módulo, por isso, seu valor é sempre absoluto, ou seja, se for positivo, é o próprio número; contudo, se for negativo, é o seu número simétrico positivo.

A medida descreve a irregularidade da rede de espaços urbanos através das diferenças de conexões entre os componentes do sistema, assim, não consegue capturar efetivamente a regularidade morfológica do traçado urbano numa representação por centros de via. De certa forma, essa medida consegue refletir indiretamente as variações de comprimento dos centros de vias juntamente com suas variações de granulometria dos quarteirões.

Na Tabela um (1) podem ser visualizados os valores das medidas de compacidade juntamente com os valores da medida de irregularidade da rede urbana para todas as 29 cidades em análise.

Tabela 1: Indicador de Continuidade, Índice de Compacidade, Medida de Compacidade Urbana e Medida de Irregularidade da Rede Urbana de todas as cidades em análise.

Cidades	Indicador de Continuidade	Índice de Compacidade	Medida de Compacidade Urbana	Irregularidade da rede Urbana
Anápolis - GO	0,11848	5,0287	14,4344	1,884318
Arapiraca - AL	0,14218	2,4320	11,4942	1,522021
Bauru - SP	0,13721	6,5651	13,0697	2,060724
Boa Vista - RR	0,28604	3,2754	5,1389	3,155695
Camaçari - BA	0,09934	4,9156	25,2662	1,133147
Caruaru - PE	0,14882	6,1890	11,4504	1,733271
Cascavel - PR	0,28719	3,6796	4,9862	2,982678
Divinópolis - MG	0,08898	7,6081	24,5244	1,758466

Cidades	Indicador de Continuidade	Índice de Compacidade	Medida de Compacidade Urbana	Irregularidade da rede Urbana
Foz do Iguaçu - PR	0,14889	4,5456	11,0665	1,920693
Franca - SP	0,14215	6,1702	13,0613	2,044190
Governador Valadares - MG	0,26549	9,9635	16,3702	1,479622
Guarujá - SP	0,14616	7,4810	15,7936	1,840535
Imperatriz - MA	0,19860	5,3093	9,0286	1,891222
Itabuna - BA	0,13711	7,9728	15,8961	1,268376
Limeira - SP	0,09713	4,8809	16,4788	1,493607
Marabá - PA	0,21497	14,4523	16,4664	1,642024
Marília - SP	0,17927	9,3316	13,0118	1,856119
Mossoró - RN	0,19676	5,1840	10,3703	2,322294
Palmas - TO	0,10577	6,4669	18,3564	1,506301
Pelotas - RS	0,19527	3,7403	11,0554	2,038728
Petrolina - PE	0,12604	5,4204	15,6702	1,794278
Ponta Grossa - PR	0,15991	6,1545	11,0572	2,185643
Rio Branco - AC	0,09694	8,5795	20,4106	1,344347
Santa Maria - RS	0,13715	5,8403	15,2903	1,509814
Santarém - PA	0,26572	4,5389	8,0392	2,608856
São Carlos - SP	0,13708	5,2996	16,3565	1,619487
Sete Lagoas - MG	0,10220	6,7071	23,6600	1,494063
Uberaba - MG	0,11733	6,8851	13,9926	1,861525
Vitória da Conquista - BA	0,13719	3,3452	14,7707	1,673148

Fonte: Autor. (2015).

4. ANÁLISES E RESULTADOS

A medida de Centralidade por Proximidade apresenta sempre uma distribuição estatística aproximadamente gaussiana, independentemente das características morfológicas e configuracionais do sistema urbano sendo analisado. Portanto, o comportamento agregado do sistema pode ser descrito pela média e o desvio padrão.

O Comportamento estatístico da medida de Centralidade por Proximidade é avaliado quanto as suas relações com as características de fragmentação/compactação da forma urbana e a irregularidade da rede do sistema urbano observado. Essas relações são determinadas

pelas comparações entre os três indicadores da compacidade da forma urbana e a medida de irregularidade da rede urbana com a média e o com o desvio padrão da medida de Centralidade por Proximidade.

A correlação observada entre as variáveis analisadas foi linear, a qual ocorre quando a interpolação dos pontos do diagrama de dispersão se aproxima de uma linha reta. Tal correlação pode ser descrita pelo coeficiente linear de Pearson (r), que mede o grau de associação linear entre variáveis. Nesse coeficiente os valores variam de 1 a -1 , logo, quanto mais próximos desses extremos, maior é o grau de intensidade de correlação entre as variáveis (Sicsú & Dana, 2012). Para determinar a qualidade de ajuste da regressão linear é utilizado o coeficiente de determinação (R^2), que é capaz de avaliar a dispersão dos dados em relação à reta. Esse coeficiente indica, em porcentagem, qual é a precisão da regressão linear à reta do modelo de ajuste (Sharpe, Veaux & Velleman, 2011).

Ainda é possível determinar a probabilidade de acerto na associação entre as variáveis, definida pelo parâmetro que estima o intervalo de confiança. Quando os valores desse intervalo forem menores que $0,01$, significa que há 99% de confiabilidade de que a associação entre os dados provavelmente não ocorra ao acaso, logo, quanto maior for o valor estimado pelo parâmetro, menos confiável será a probabilidade de correlação entre as variáveis (Sicsú & Dana, 2012).

4.1. Relações da medida de Centralidade por Proximidade com a Compacidade da forma urbana

Na análise da correlação entre a média da medida de Centralidade por Proximidade e os três indicadores da compacidade da forma urbana, os resultados obtidos apontam para uma correlação linear entre dois dos três indicadores de compacidade, conforme Figura três *a*, *b* e *c* (3a, 3b e 3c):

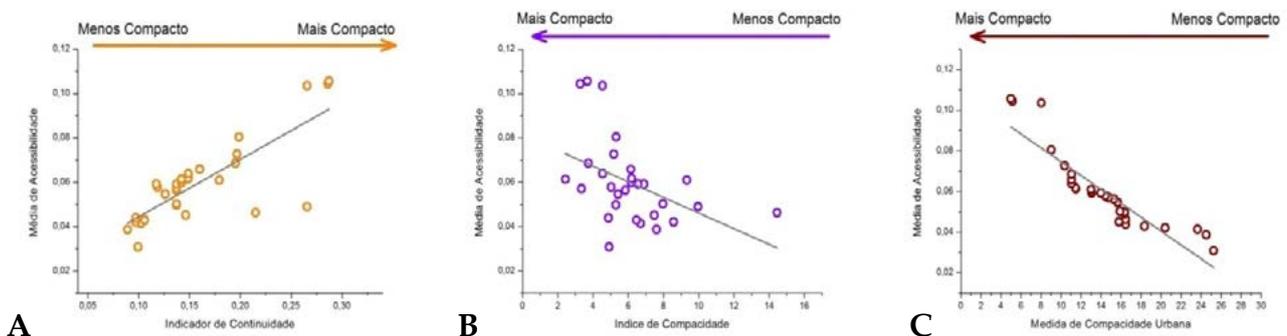


Figura 3: Gráfico de correlação entre a média da medida de Centralidade por Proximidade e: a) o Indicador de Continuidade b) o Índice de Compacidade e c) a Medida de Compacidade Urbana.

Fonte: Autor (2015).

Os valores do coeficiente linear de Pearson (r) para o Indicador de Continuidade, o Índice de Compacidade e a Medida de Compacidade Urbana são, respectivamente: +0,7923; -0,4505 e -0,9026. Nessa mesma ordem, os intervalos de confiança são 0,01; 0,05 e 0,01 e sua regressão linear é de 62,8%; 20,3% e 81,5%.

As correlações mais fortes e significativas são as relações obtidas entre a medida de Centralidade por Proximidade com o Indicador de Continuidade e com a Medida de Compacidade Urbana, indicando que os melhores encaixes obtidos são com esses dois indicadores de compacidade, os quais consideram os vazios urbanos. Assim, sugerindo que, dentro das dimensões empregadas neste trabalho, a presença de vazios urbanos é capaz de influenciar no modo como a Centralidade por Proximidade se distribui no sistema. Quanto mais compacta, ou menos fragmentada, for a cidade, maior a média da medida de Centralidade por Proximidade, isto é, o sistema como um todo é mais “acessível”. Assim, pode-se colocar que a descrição agregada da medida de Centralidade por Proximidade, por meio de sua média, é capaz de refletir o nível de compacidade da forma urbana.

Também foi feita a análise da relação entre os valores do desvio padrão da Centralidade por Proximidade e os três indicadores de compacidade. Essa análise teve como objetivo verificar se a variável compacidade também é capaz de interferir na maior ou menor homogeneização dos valores da Centralidade por Proximidade no sistema. Os resultados obtidos também apontam para uma correlação linear entre dois dos três indicadores de compacidade, conforme Figura quatro *a*, *b* e *c* (4a, 4b e 4c):

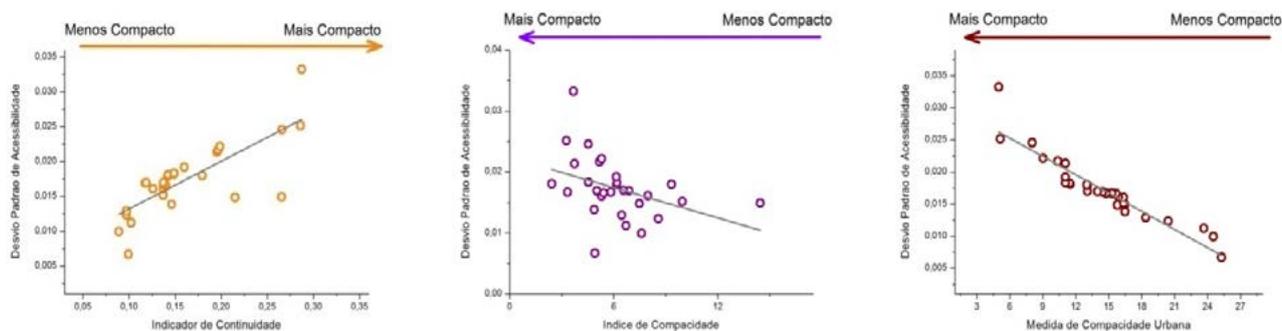


Figura 4: Gráfico de correlação entre o desvio padrão da medida de Centralidade por Proximidade e a) o Indicador de Continuidade b) o Índice de Compacidade e c) a Medida de Compacidade Urbana.

Fonte: Autor (2015).

Os valores do coeficiente linear de Pearson (r) para o Indicador de Continuidade, o Índice de Compacidade e a Medida de Compacidade Urbana são, respectivamente: +0,7714; -0,3936 e -0,9365. Seguindo nessa mesma ordem, os intervalos de confiança são 0,01; 0,05 e 0,01 e sua regressão linear é de 59,5%; 15,5% e 86,9%.

Tais correlações também indicaram que os melhores encaixes obtidos são com os dois indicadores de compacidade que consideram os vazios urbanos: Indicador de Continuidade e com a Medida de Compacidade Urbana. Por conseguinte, novamente verificou-se a influência dos vazios urbanos na maneira como se dá a distribuição estatística da medida de Centralidade por Proximidade.

4.2. Relações da medida de Centralidade por Proximidade com a Irregularidade da rede espacial urbana

A análise da relação da medida de Centralidade por Proximidade e o nível de irregularidade da rede urbana (pelo método de Nikiforov) obteve uma correlação efetiva tanto com a média, quanto com o desvio padrão da Centralidade por Proximidade, nesse aspecto, os resultados indicam uma correlação linear. Conforme Figura cinco *a* e *b* (5a e 5b):

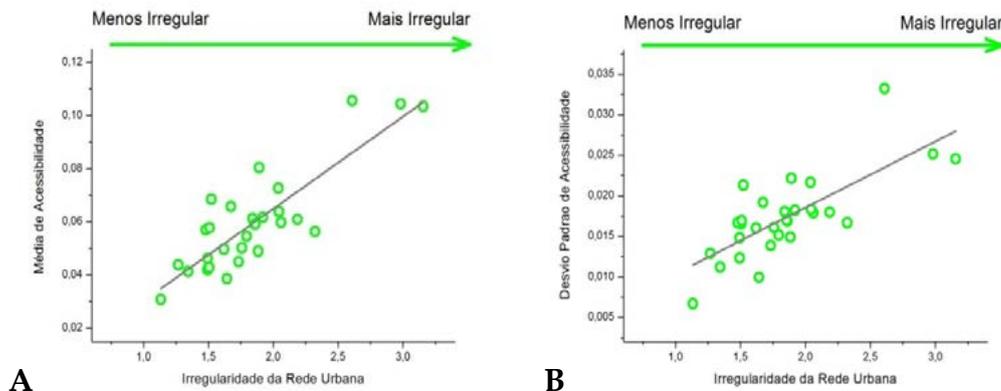


Figura 5: Gráfico de correlação entre a medida de Irregularidade da Rede Urbana e: a) a média da medida de Centralidade por Proximidade e b) o desvio padrão da medida de Centralidade por Proximidade.

Fonte: Autor (2015).

Os valores do coeficiente linear de Pearson (r) para a Irregularidade da rede Urbana com a média da medida de Centralidade por Proximidade é de +0,8515, enquanto que a relação com o desvio padrão é de +0,7474. Os intervalos de confiança dos dois gráficos são de 0,01 (99% significativos) e a regressão linear das retas é de, respectivamente: 72,5% e 55,9%. Em ambos os casos, obteve-se bons encaixes, sugerindo que a irregularidade da rede urbana pode influenciar no comportamento da medida de Centralidade por Proximidade, no sentido de que quanto mais irregular for a rede da cidade, maior é a média e o desvio padrão da Centralidade por Proximidade.

A medida de irregularidade capta diferenças de conectividades, de maneira que quanto mais irregular a rede da cidade, maiores são as diferenças entre os graus dos vértices, ou seja, a cidade possui grande quantidade de ruas com diferentes números de conexões. Mais precisamente, essa medida mede a realidade da estrutura configuracional urbana, em termos de conexões, de

modo a demonstrar a existência de uma correlação razoável da medida com cidades que possuem extensas vias.

Quanto à morfologia, parte das cidades consideradas mais irregulares parece ter um traçado da malha viária mais regular, entretanto não é possível medir esse tipo de aspecto em um grafo sem levar em consideração outros elementos da rede. Por isso, a descrição morfológica das cidades representadas por centros de via merece um estudo mais aprofundado, pois até o momento não se tem outra medida capaz de medir a irregularidade.

5. CONCLUSÃO

A compreensão do comportamento agregado da medida de Centralidade por Proximidade e suas relações com aspectos da morfologia urbana ampliam a visão do significado dessa medida e trazem novas possibilidades referentes à análise configuracional urbana. Um exemplo disso é a confirmação do pressuposto inicial de que essa medida, enquanto descritora do sistema como um todo, pode definir classes gerais de configurações urbanas, além de caracterizar o sistema urbano. Os dados e as análises estatísticas realizadas sugerem que existem relações entre o comportamento agregado da medida de Centralidade por Proximidade e o nível de fragmentação/compactação da forma urbana e a irregularidade da rede urbana.

Dois dos três indicadores de compacidade utilizados demonstram uma relação direta da forma urbana com a média e o desvio padrão da medida de Centralidade por Proximidade. Também é evidente a influência dos vazios urbanos no comportamento da medida, pois os dois indicadores (Indicador de Continuidade e Medida de Compacidade Urbana) que obtiveram a maior correlação agregam os vazios urbanos em seus parâmetros. Tais resultados indicam que quanto mais compacta for a cidade, maiores serão os valores da média e do desvio padrão da medida de Centralidade por Proximidade.

Ainda é possível supor a influência da irregularidade da rede urbana sobre o comportamento agregado da medida de Centralidade por Proximidade. Cabe ressaltar que, a medida de irregularidade não capta efetivamente a regularidade morfológica do traçado urbano em uma representação por centros de via, pois as cidades que parecem ter um traçado viário mais regular são aquelas que possuem os maiores valores de irregularidade da rede. De certa maneira, ela capta indiretamente as variações de comprimento dos centros de via associadas com variações de granulometria dos quarteirões; demonstrando, assim, que quanto maior é o valor da irregularidade da rede, maior é a média e o desvio padrão junto à média da medida de Centralidade por Proximidade.

Portanto, o comportamento agregado da medida de Centralidade por Proximidade, definido enquanto média e desvio padrão, parece ter uma correlação significativa com a forma da cidade, de tal maneira que os melhores índices da medida são consequência de uma rede urbana mais irregular e de uma forma urbana mais compacta, além de ficar evidente que os vazios urbanos influenciam significativamente no comportamento distributivo da medida de Centralidade por Proximidade.

Cabe ressaltar que os resultados encontrados estão condicionados pelo modo de representação adotado, podendo não ser válidos para outro meio representativo do sistema urbano. Além disso, foram utilizadas cidades de porte semelhante, dentro de um determinado padrão, significando que os resultados obtidos não abrangem todo o tipo de cidade.

Esta pesquisa incorporou novos processos às análises urbanas com modelos baseados em grafos pelo critério de centros de via. Procurou-se uma melhor compreensão do comportamento agregado da medida de Centralidade por Proximidade quando relacionada a determinados aspectos espaciais urbanos, aprimorando os procedimentos de análise estatística e melhor compreendendo as implicações do padrão de distribuição dessa medida. Além de perceber novas implicações acerca da medida ao se analisar seu comportamento estatístico quando comparada a aspectos relativos aos espaços urbanos, podendo ser de grande importância para a elaboração de trabalhos futuros dentro da abrangência deste tipo de estudo e, ainda, auxiliando nos processos de planejamento preocupados em como melhorar a acessibilidade global e a conectividade entre os espaços urbanos.

BIBLIOGRAFIA

- Abdo, H.; & Dimitrov, D. (2012). The total irregularity of a graph. *arXiv:1207.5267v1 [csDM]*.
- Albertson, P. (1997). The irregularity of a graph. *Ars Combinatoria*, v. 46, pp. 219-225.
- Alavi, Y.; Chartrand, G.; Chung, F. R. K.; Erdős, P.; Graham, R. L.; & Oellermann, O. R. (1987). Highly Irregular Graphs. In: *Journal of Graph Theory*, v. 11, n. 2, pp. 235-249.
- Barabási, A. L.; & Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. In: *Science*, 286, pp. 509-512.
- Bell, F. K. (1992). A note on the irregularity of graphs. *Linear Algebra and its Applications*. v 161, p. 45-54.
- Chartrand, G.; Erdős, P.; & Oellermann, O. R. (1988). How to Define an Irregular Graph. *The College Mathematical Journal* 19, v. 1, p. 36-42.
- Christofolletti, A. (1980). *Geomorfologia*. (2ª ed.). São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda.

Collatz, L.; & Sinogowitz, U. (1957). Spektren endlicher Graphen. *Abh. Math. Sem. Univ. Hamburg*, v. 21, pp. 63-77.

Dimitrov, D.; Brandt, S.; & Abdo, H. (2014). The total irregularity of a graph. *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*. v. 16:1, 2-14, p. 201-06.

Faria, A. P. N. de. (2010). *Análise configuracional da forma urbana e sua estrutura cognitiva*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

Gastner, M. T.; & Newman, M. E. J. (2006). The spatial structure of networks. In: *The European Physical Journal B*, v. 49, pp. 247-252.

Hillier, B. (2002). A Theory of the City as Object: or, spatial laws mediate the social construction of urban space. In: *Urban Design International*, v. 7.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística / IBGE (2010). *Censo de 2010*. Recuperado em 23 de fevereiro, 2014, de <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>

Krafta, R. (2014). *Notas de aula de Morfologia Urbana*. Porto Alegre: Editora da UFRGS.

Medeiros, V. A. S. de. (2006). *Urbis Brasiliae ou sobre cidades do Brasil: inserindo assentamentos urbanos do país em investigações configuracionais comparativas*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.

Nikiforov, V. (2006). Eigen values and degree deviation in graphs. In: *Linear Algebra and its Applications*, 414, pp. 347-360.

Polidori, M. C.; & Krafta, R. (2003, maio). Crescimento urbano - fragmentação e sustentabilidade. *Anais X Encontro Nacional da ANPUR*. Belo Horizonte, MG, Brasil.

Sicsú, A. L.; & Dana, S. (2012). *Estatística aplicada: análise exploratória de dados*. São Paulo: Editora Saraiva.

Sharpe, N. R.; Veaux, R. D. De; & Velleman, P. F. (2011). *Estatística aplicada: administração, economia e negócios* (Traduzido por Lori Viali). Porto Alegre: Bookman.

Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of "small-world" networks. In: *Nature*, n. 393. pp. 440-442.

Recebido em: 10/11/2017

Aceito em: 22/11/2017