



**ENAN  
PUR 2023**  
Belém 22 a 26 de maio



## Forma Urbana e Crescimento: explorando indicadores para o caso de Pelotas, RS

**Aline de Moura Ribeiro Xavier**

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR – UFRGS

**Clarice Maraschin**

Professora do Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR – UFRGS

### Sessão Temática 7: [Socio] tecnologia para o planejamento urbano e regional

---

*Resumo. O crescimento da urbanização contemporânea é marcado fortemente pela descontinuidade em relação às áreas mais consolidadas das cidades, remetendo a impactos na sustentabilidade urbana. Torna-se importante contar com metodologias que permitam medir e avaliar os impactos dos padrões de crescimento urbano sobre diferentes aspectos sócio-econômicos e ambientais. O presente artigo pretende contribuir neste tema enfocando as métricas de crescimento urbano e seu objetivo é explorar alguns indicadores de crescimento da forma urbana, tendo como estudo empírico a cidade de Pelotas, RS. Pretende-se responder à seguinte questão: como descrever e analisar o padrão de crescimento recente da urbanização em Pelotas? São aplicados dois tipos de indicadores: da forma geral do assentamento, comparando o crescimento da mancha urbana entre os anos de 2000 e 2015, e indicadores da configuração do sistema viário. Os indicadores selecionados permitiram identificar processos de crescimento disperso e também foi possível estabelecer relações com a hierarquia espacial presente na estrutura urbana. Tais evidências ainda são preliminares, no entanto mostram-se importantes na discussão sobre o crescimento futuro da cidade.*

*Palavras-chave. Crescimento; forma urbana; indicadores; dispersão; Pelotas.*

### Urban Form and Growth: exploring indicators for the case of Pelotas, RS

---

*Abstract. The growth of contemporary urbanization is strongly marked by discontinuity in relation to the most consolidated areas of cities, leading to impacts on urban sustainability. There is a lack of methodologies able to measure and evaluate the impacts of urban growth patterns on different socio-economic and environmental aspects. This paper contributes to this theme focusing on the metrics of urban growth and its objective is to explore some indicators of urban form growth, through the empirical study of Pelotas, RS. We question: how to describe and analyze the recent growth pattern of urbanization in Pelotas? Two types of indicators are applied: those related to the general form of the settlement, comparing the urban area between the years 2000 and 2015, and indicators of the road network configuration. The selected indicators allowed identifying dispersed growth processes and it was also possible to establish relationships with the spatial hierarchy present in the urban structure. Such evidence is still preliminary, however it is important in the discussion about the future growth of the city.*

*Key words. Growth; urban form; indicators; sprawl; Pelotas.*

### Forma Urbana y Crecimiento: explorando indicadores para el caso de Pelotas, RS

---

*Resumen. El crecimiento de la urbanización contemporánea está fuertemente marcado por la discontinuidad en relación con las áreas más consolidadas de las ciudades, implicando*

*impactos sobre la sostenibilidad urbana. Es importante contar con metodologías que permitan medir y evaluar los impactos de los patrones de crecimiento urbano en diferentes aspectos socioeconómicos y ambientales. El presente artículo pretende contribuir en este tema centrándose en las métricas de crecimiento urbano y su objetivo es explorar algunos indicadores de crecimiento de la forma urbana, teniendo como estudio empírico la ciudad de Pelotas, RS. Se pretende responder a la siguiente pregunta: ¿cómo describir y analizar el patrón de crecimiento reciente de la urbanización en Pelotas? Se aplican dos tipos de indicadores: la forma general de urbanización, comparando el crecimiento del área urbana entre los años 2000 y 2015, e indicadores de la configuración de la red de calles. Los indicadores seleccionados permitieron identificar procesos de crecimiento dispersos y también fue posible establecer relaciones con la jerarquía espacial de la estructura urbana existente. Tal evidencia es aún preliminar, sin embargo es importante en la discusión sobre el crecimiento futuro de la ciudad.*

*Palabras clave. Crecimiento; forma urbana; indicadores; dispersión; Pelotas.*

## 1. Introdução

As cidades vêm passando por significativas transformações decorrentes das mudanças nos padrões de consumo e de produção, avanços nas tecnologias de comunicação, desenvolvimento de infraestruturas de transporte associados à popularização do automóvel. Nesse contexto de mudanças, as cidades sofreram processos de crescimento, tanto populacional bem como no seu padrão de expansão física. O crescimento populacional induz a uma expansão física das cidades, mas há que se considerar que não se trata apenas da pressão dos números, mas como as formas urbanas se moldam e são moldadas pelas tensões entre crescimento populacional e expansão urbana (OJIMA, 2007). Em outras palavras, duas cidades podem ter taxas de crescimento populacional semelhantes, porém suas formas urbanas podem ser muito diferentes: mais compactas, verticalizadas e monocêntricas ou mais dispersas, horizontalizadas e policêntricas, gerando impactos bastante diversos na sustentabilidade urbana.

A noção de cidade dispersa ou “espalhamento urbano” (*urban sprawl*) surge nos anos de 1960 nos Estados Unidos, sobretudo pela disseminação do padrão suburbano de urbanização. No Brasil também o padrão de urbanização vem sendo marcado por lógicas de expansão marcadas pela descontinuidade territorial. Nas décadas de 1960 e 1970 as cidades brasileiras conviveram com altas taxas de crescimento populacional, motivadas, sobretudo, pela migração campo-cidade. As periferias das grandes cidades cresceram a partir da implantação de loteamentos populares, sendo que tal crescimento vem se acentuando nas últimas décadas, sobretudo em função dos interesses de lançamento de novos produtos imobiliários. Loteamentos e condomínios horizontais e verticais, associados aos ideais de segurança, melhor qualidade ambiental e de vida, ampliam a tendência de uma cidade dispersa entre os segmentos de médio e alto poder aquisitivo (SPOSITO, 2009).

Diversos estudos vêm buscando compreender os impactos sociais, econômicos e ambientais das formas urbanas dispersas quando comparadas a formas compactas (GORDON E RICHARDSON, 1997; ECHENIQUE et al, 2012). No Brasil, o trabalho recente desenvolvido pelo IPEA (PEREIRA et al, 2022) faz um extenso estudo sobre como a organização espacial das cidades brasileiras impacta o consumo de energia na mobilidade urbana. O estudo avalia em que medida o consumo de energia per capita no transporte individual motorizado das 182 maiores aglomerações urbanas do país é impactado por diferentes características da forma urbana, considerando vários aspectos (densidade populacional, mix de uso do solo, compactidade e contiguidade, além de características do sistema viário).

Tais trabalhos evidenciam a importância de sistematizar indicadores que permitam avaliar o desempenho de diferentes formas urbanas sobre a sustentabilidade, incluindo o consumo de terra agrícola, consumo de energia, mobilidade, preço da terra, impermeabilização do solo, segregação socioespacial, entre outros. Este tipo de estudo representa um enorme desafio para a pesquisa, dada a complexidade das inúmeras variáveis envolvidas, ainda com poucos estudos no Brasil. O presente artigo pretende contribuir neste tema, enfocando as métricas de crescimento urbano, e seu objetivo é explorar alguns indicadores de crescimento da forma urbana, tendo como estudo empírico a cidade de Pelotas, RS. Pretende-se responder à seguinte questão: como descrever e analisar o padrão de crescimento recente da urbanização em Pelotas? São aplicados dois tipos de indicadores: da forma geral do assentamento, comparando o crescimento da mancha urbana entre os anos de 2000 e 2015, e da configuração do sistema viário. O trabalho pretende contribuir com os estudos de crescimento e dispersão da forma urbana e dar suporte ao planejamento urbano no monitoramento desses processos.

O artigo está organizado em quatro partes, além desta introdução. Na sequência, problematiza-se o crescimento da forma urbana e revisam-se alguns indicadores discutidos na literatura. A terceira seção apresenta a metodologia do estudo, os indicadores selecionados e os dados empíricos necessários. A quarta seção apresenta os resultados da análise espacial em Pelotas e a última parte traz as conclusões permitidas pelo estudo.

## 2. Crescimento, forma urbana, indicadores

Abramo (2007) afirma que as cidades latino-americanas apresentam uma forma que ele denomina *com-fusa*, originada de processos simultâneos de compactação e difusão de sua estrutura. O mercado imobiliário, tanto o formal quanto o informal, produziria movimentos centrífugos de busca por terras baratas e, simultaneamente, movimentos centrípetos, revalorizando espaços já ocupados e aumentando a densidade. Nesse processo, gera-se um desenvolvimento desigual, que prioriza determinadas áreas da cidade, em detrimento de outras, reforçando a segregação sócio-espacial. Na mesma direção, Borsdorf (2003) afirma que as grandes cidades latino-americanas contemporâneas apresentam um modelo estrutural de *cidade fragmentada*. Neste modelo, a periferia apresenta uma nova caracterização, em que convivem assentamentos precários, condomínios fechados de vários grupos de renda, shopping centers, zonas industriais e outros serviços e equipamentos, acessíveis a partir de uma rede de vias arteriais que conecta essas zonas separadas.

O presente trabalho busca focar na morfologia resultante desse tipo de crescimento. Do ponto de vista morfológico, Panerai (2006:55) identifica os principais modos de crescimento urbano, considerando o crescimento por adensamento e o crescimento por expansão territorial. O crescimento por adensamento se dá sem expansão territorial, através do adensamento do interior do tecido urbano já consolidado, tanto pelo preenchimento das reservas fundiárias, seja à escala do quarteirão ou do lote, quanto por substituição das unidades existentes, conservando-se as propriedades associativas dos elementos estruturadores do tecido urbano. Já o crescimento por expansão territorial se dá pela formação e agregação de novas parcelas, podendo ser: *contínuo*, quando se faz pelo prolongamento direto das porções urbanas já construídas; *e/ou descontínuo*, quando há rupturas, naturais ou agrícolas, entre as partes antigas e as novas extensões, eclodindo o tecido.

Ao considerar a forma urbana enquanto um campo de conhecimento e investigação mostra-se possível avaliar seu desempenho. Dessa maneira, a avaliação da forma urbana significa mapeá-la através de seus atributos e demandar respostas em relação a um determinado aspecto. A aferição depende de indicadores e parâmetros previamente estabelecidos frente a um sistema e a uma escala de valores (KRAFTA, 2014).

A vida social urbana é feita de demandas por espaços adaptados para atividades e deslocamentos. Assim, a infraestrutura da cidade possibilita que indivíduos e organizações se localizem e estabeleçam relações a partir de fluxos dos mais variados tipos. Para avaliar a dinâmica espacial e as relações socioespaciais são necessárias formas eficazes de mensuração e de monitoramento de seu desempenho.

### 2.1 Indicadores de avaliação da forma urbana e crescimento

Gonçalves (2011) apresenta uma revisão dos indicadores de dispersão urbana presentes na literatura, mostrando que são predominantemente internacionais. Entre os estudos nacionais, Ojima (2007) busca compor um índice sintético de dispersão urbana que permita a comparação entre aglomerações urbanas brasileiras. Considera os indicadores de densidade, fragmentação, orientação e centralidade. Gonçalves (2011) observa que a questão das densidades é um dos aspectos mais recorrentes na literatura tendo em vista que a dispersão é comumente associada a baixas densidades. A densidade pode se referir tanto a população, domicílios ou área construída. Importante também são as métricas relativas aos padrões da forma urbana propriamente dita (continuidade, nucleação, compacidade, fragmentação, entre outros). Outro aspecto recorrente é a análise da rede de ruas, pois estas influenciam na aproximação ou distanciamento entre os diversos usos do solo, através de métricas de acessibilidade.

Krafta (2014) sugere um conjunto abrangente de indicadores voltados a analisar vários aspectos da forma urbana: indicadores da forma geral dos assentamentos (continuidade, forma), do espaço público urbano (distributividade, permeabilidade, profundidade, acessibilidade), do tecido

urbano (compacidade, continuidade da forma construída) e de desempenho da estrutura primária (identidade, abrangência). Além destes, o autor propõe também indicadores da estrutura espacial urbana, contribuindo para discernir sua ordem e estrutura internas, sendo que tais indicadores são baseados em modelos configuracionais. Modelos configuracionais (HILLIER e HANSON, 1984; KRAFTA, 1994) permitem analisar de maneira sistêmica as características de rede de ruas, tais como a acessibilidade e a centralidade. Tornam-se, portanto recursos importantes na análise da forma urbana. Nessa direção, Gonçalves (2011) propõe a adoção de um método configuracional (modelo de acessibilidade ponderada) para descrever e analisar a dispersão urbana que inclui a descrição detalhada da rede de ruas e a distribuição das atividades (empregos).

A partir dessa breve revisão de literatura, o presente estudo seleciona dois conjuntos de indicadores para a avaliação da forma urbana: indicadores da forma geral urbana e indicadores configuracionais. A seguir, estes indicadores são apresentados.

## 2.2. Indicadores da forma geral dos assentamentos

A forma urbana pode ser examinada quanto à relação com o território sobre a qual se assenta. Inúmeros fatores como topografia, ocupação natural, fatores sociais, históricos, sistema viário, entre outros, emergem na forma geral dos assentamentos e sua dinâmica socioespacial.

### 2.2.1. Indicador de continuidade

Este indicador procura medir o grau de fragmentação da forma urbana através do exame do seu perímetro, ao comparar o perímetro do assentamento com o do polígono convexo mínimo que o contém. A partir da comparação dos perímetros é possível verificar o grau de reentrâncias do assentamento urbano.

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

Onde,  $2p_{conv}$  é o perímetro do polígono convexo;  $2p_u$  é o perímetro da área urbanizada.

Esta medida varia entre (0) e (1): o limite inferior representa alto grau de descontinuidade e de fragmentação.

A presença de reentrâncias, assim como de vazios internos produzem efeitos, geralmente negativos, na eficiência urbana (KRAFTA, 2014). Descontinuidades da forma podem resultar em percursos mais longos, afetando o deslocamento entre locais com origem e destinos nas áreas semi-isoladas pela fragmentação. Além de influenciar na vida dos usuários, afeta também na extensão da rede de infraestrutura e serviços públicos.

### 2.2.2. Indicador de regularidade da forma

Procura medir o grau de regularidade da forma geral dos assentamentos urbanos mediante o exame de sua forma geométrica. Uma das maneiras mais simples de produzir um indicador quantitativo é comparar a área do assentamento com a do seu círculo circunscrito (Krafta, 2014). O círculo é a figura geométrica que minimiza a distância dos pontos extremos, localizados sobre o seu perímetro, com relação ao centro. Com isso, uma cidade de forma circular tende a apresentar uma distância média de viagem mínima, o que se reflete sobre a sua eficiência.

$$I_{form}(U) = \frac{A_u}{A_{circ}}$$

Onde,  $A_u$  é área urbanizada;  $A_{circ}$  é a área do círculo circunscrito.

Esta medida varia entre (0) e (1), sendo que o limite superior representa a máxima continuidade. Uma cidade de forma circular tenderia a apresentar uma distância média de viagem mínima, o que se reflete sobre sua eficiência.

### 2.2.3. Indicador de densidade

Conforme mencionado, a densidade aparece como um dos indicadores mais usados para quantificar a dispersão (OJIMA, 2007). Entretanto, o uso da densidade média (população total/área total) pode não revelar o real quadro da forma de crescimento da cidade. Dessa forma, é importante considerar a população urbana e a área efetivamente urbanizada (desconsiderando os vazios) para ter uma real dimensão da densidade. Indiretamente, esse indicador pode avaliar a compacidade, supondo que as cidades mais densas também serão mais compactas.

$$Densidade = \frac{pop}{A U}$$

Onde,  $pop$  é o número da população urbana;  $A u$  é área efetivamente urbanizada.

## 2.3. Indicadores Configuracionais

Estudos configuracionais vêm explorando o potencial da configuração espacial e do uso do solo em promover o movimento (pessoas, veículos) e, por sua vez, a influência do movimento na evolução dos sistemas urbanos. Tais estudos tratam cidades como redes espaciais e exploram a diferenciação espacial decorrente do padrão espacial das rotas de caminhos (vias). Diversas medidas de centralidade configuracional foram desenvolvidas a fim de capturar as propriedades do sistema espacial e dos seus elementos constituintes. A seguir apresenta-se a Acessibilidade e a Centralidade Freeman-Krafta.

### 2.3.1. Indicador de Acessibilidade

Acessibilidade é uma medida configuracional de diferenciação espacial, que considera a distância relativa entre os componentes num sistema espacial. Avalia a distância relativa entre os nós numa rede espacial utilizando o caminho mínimo, assumindo que nós mais acessíveis possuem um menor somatório de distância a todos os demais. A noção de acessibilidade está intuitivamente associada à proximidade e à facilidade de alcance.

$$A_i = \sum_{i=0}^n \frac{1}{d_{ij}}$$

Onde  $A_i$  é a acessibilidade da entidade  $i$ ,  $d_{ij}$  é a distância entre as entidades  $i$  e  $j$  e  $n$  é o número de entidades do sistema.

### 2.3.2. Indicador de Centralidade

Centralidade é uma medida de importância relativa dos nós numa rede espacial. Define-se como central o espaço que mais vezes recai nos caminhos mínimos entre os pares de espaço do sistema (FREEMAN, 1970). Krafta (1996) propõe uma centralidade por intermediação ponderada pela distância (Centralidade Freeman-Krafta), introduzindo as noções de tensão e dissipação: a tensão reflete a relação entre dois pontos expressa pelo produto de seus conteúdos (atributos); a dissipação refere-se à extensão do caminho mínimo entre cada par de pontos. Assim, a centralidade é afetada pela distância, pois a tensão é dissipada, diminuindo conforme aumenta a distância entre os espaços. A Centralidade Freeman-Krafta (FK) para um nó  $k$  é definida a partir de um cálculo em três etapas:

$$\text{Tensão: } t_{ij} = a_i a_j \quad \text{Dissipação: } t_{ij}(k) = \frac{a_i a_j}{d} \quad \text{Centralidade: } C(k) = \sum_{i,j}^n t_{ij}(k)$$

Onde  $t_{ij}$  é a tensão entre os nós  $i$  e  $j$ ,  $a_i$  e  $a_j$  são os atributos respectivamente de  $i$  e  $j$ ,  $t_{ij}(k)$  é a parcela da tensão entre  $i$  e  $j$  atribuída a  $k$ , sendo  $k$  um nó pertencente ao(s) caminho(s) mínimo(s) entre  $i$  e  $j$ ,  $d$  é a distância entre  $i$  e  $j$ . Finalmente,  $C(k)$  é a centralidade de  $k$  após o cômputo de todos os pares possíveis do sistema.

### 3. Metodologia

Conforme mencionado, este artigo explora alguns indicadores de crescimento da forma urbana, tendo como estudo empírico a cidade de Pelotas, RS. O Quadro 1 apresenta uma síntese dos indicadores e dos dados empíricos utilizados.

Quadro 1. Indicadores selecionados e dados empíricos (fonte: elaborado pelos autores).

Tipo	Indicadores	Foco da análise	Dados empíricos	Procedimentos
Forma geral	Continuidade	Perímetro da área urbanizada e perímetro do polígono convexo mínimo que o contém	Área Urbanizada Anos 2000 e 2015 - fotos satélite	Procedimento em SIG Construção do polígono convexo. Comparação anos 2000 - 2015
	Regularidade da forma	Área urbanizada e área do círculo que contém a área urbanizada	Área Urbanizada Anos 2000 e 2015 - fotos satélite	Procedimento em SIG - construção de um círculo contendo a mancha urbana Comparação anos 2000 - 2015
	Densidade	Razão entre a população urbana e a área urbanizada	Área urbanizada Anos 2000 e 2015 - fotos satélite População urbana: Censo IBGE, 2000 e 2010	Comparação anos 2000 - 2010
Configuracionais	Acessibilidade	Distância relativa	Trechos viários Prefeitura	Cálculo dos modelos configuracionais no software GAUS
	Centralidade	Importância relativa	Grelha de controle	Comparação dos resultados com uma grelha de controle

Para o cálculo da Acessibilidade e da Centralidade foi construído um modelo espacial com a conversão dos sistemas de espaços abertos públicos de Pelotas em uma rede espacial. Optou-se pela utilização de representação por trechos, ou seja, a porção da via entre duas esquinas. Essa construção foi feita no software QGIS a partir do mapa de trechos viários da prefeitura. A rede resultou com 6.528 trechos.

Tendo a rede espacial construída foram calculadas as medidas configuracionais utilizando-se o software GAUS - Graph Analysis of Urban Systems (DALCIN; KRAFTA, 2021), que é um plug-in que roda no software QGIS (2021), permitindo que todo o processo fosse feito dentro do ambiente SIG. Como parâmetro de cálculo foram consideradas as distâncias geométricas (euclidianas) dos percursos, ou seja, a representação dos comprimentos reais (metros) dos trechos viários.

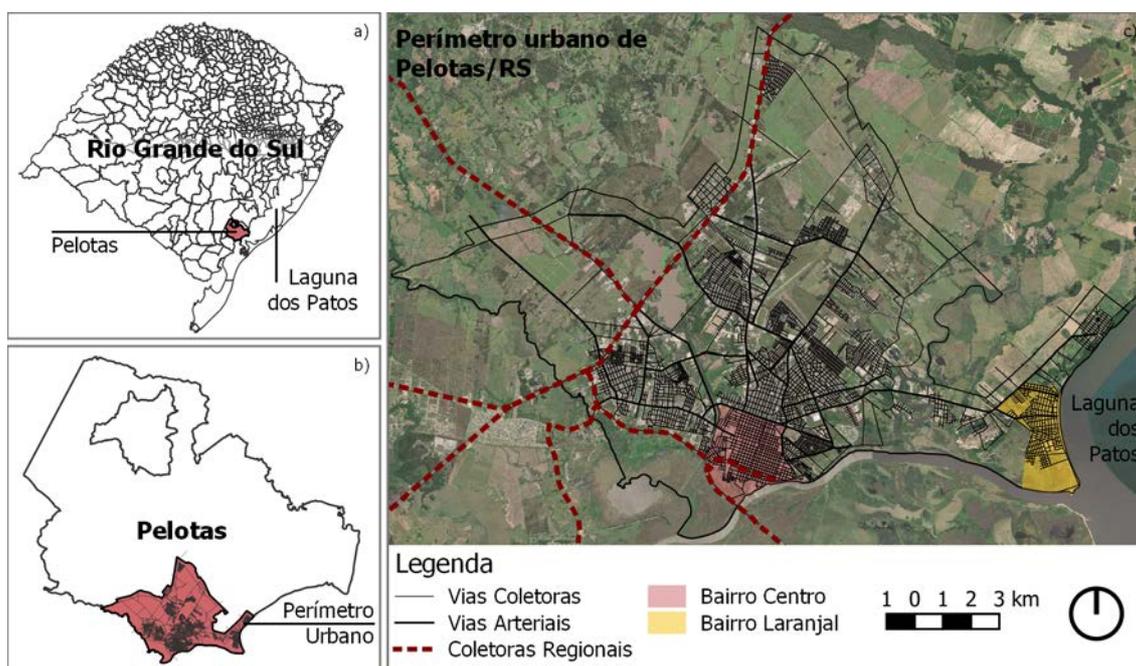
Os resultados dos indicadores de Acessibilidade e da Centralidade de Pelotas foram comparados com os resultados obtidos para uma grelha de controle, contendo o mesmo número de espaços. Trata-se de uma situação hipotética com 58 linhas e 58 colunas que representam trechos de 100 metros de comprimento (média em Pelotas), totalizando 6.612 trechos. Essa comparação busca confrontar os valores mais equilibrados apresentados na rede de referência com a situação real encontrada na cidade.

#### 4. Resultados e discussões

A implementação do método proposto envolveu uma aplicação empírica para o município de Pelotas, RS. A escolha da cidade se deu com suporte na literatura, sendo que diversos autores (SOARES, 2002; PINTO, 2016; SÁ BRITTO, 2016) afirmam que a forma urbana de Pelotas seria dispersa e fragmentada. Além disso, a disponibilidade de dados corroborou com a escolha.

Pelotas se localiza na região sul do Rio Grande do Sul, classificada como a quarta maior cidade do estado em termos populacionais, com cerca de 340 mil habitantes, conforme estimativa do IBGE para o ano de 2021.

Apresenta importantes cursos hídricos que definem limites naturais de ocupação do município, sendo eles o Canal São Gonçalo e a Laguna dos Patos, barreiras de crescimento à Sul e a Leste, respectivamente. A Figura 1 apresenta a localização e os principais aspectos físicos da cidade.



**Figura 1:** Localização de Pelotas/RS (a), seu perímetro urbano (b) e estrutura urbana atual sobre imagem de satélite. (fonte: elaborado pelos autores; imagem de satélite: Global Mapper, 2021).

A ocupação urbana de Pelotas inicia-se no século XIX, em consequência da prosperidade da produção econômica do charque, atividade então dominante no extremo sul do estado. Apresenta-se fortemente vinculada aos condicionantes naturais das planícies inundáveis, das áreas de várzea e dos terrenos alagadiços próximos aos inúmeros cursos d'água. Dessa maneira, a urbanização se encontrava em locais que viabilizavam a produção do charque e favoreciam o transporte fluvial para exportação (GUTIERREZ, 1999).

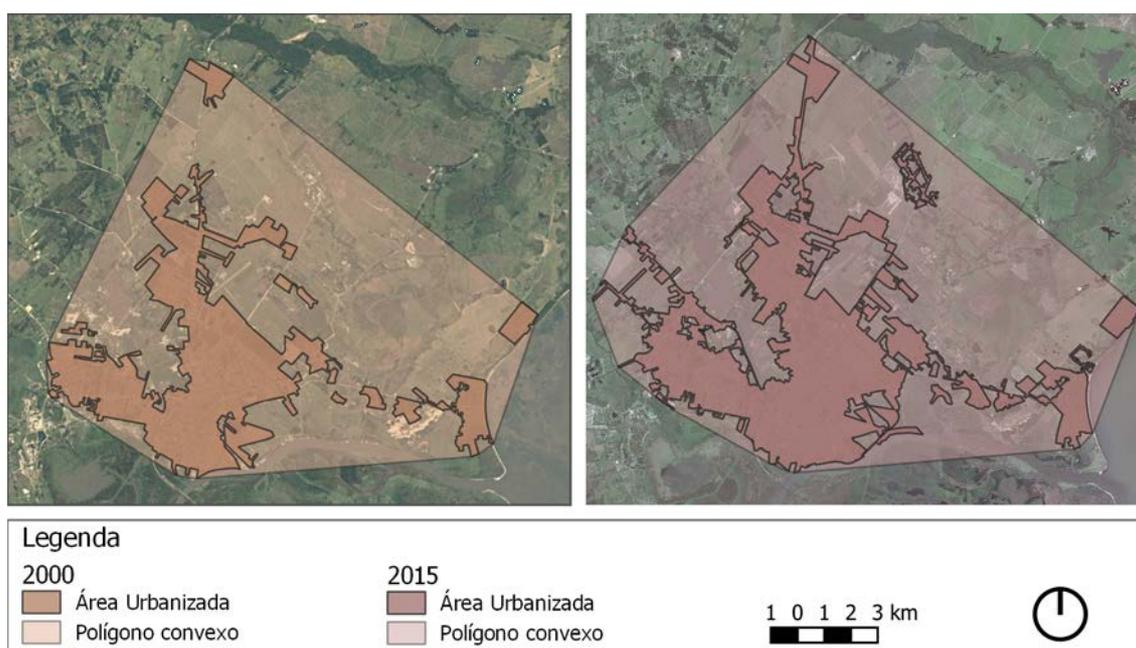
Na sequência, houve a formação de um novo núcleo, o Primeiro Loteamento, com significativo valor econômico e simbólico. O assentamento desse espaço urbano ocorreu em terreno bastante elevado, numa extensa planície, distantes das margens dos corpos d'água. Neste local se constituiu o centro da cidade e se mantém até os dias atuais. A partir dele se consolidou a área urbanizada e se manifestou as expansões urbanas pelotenses.

Nos anos de 1950, segundo Soares (2000), operações imobiliárias realizaram a construção dos Balneários do Laranjal, na costa da Laguna dos Patos, distante 12 quilômetros do centro urbano. Essa operação integrou estratégias de crescimento urbano em longo prazo e conexões próximas ao ambiente natural.

Sá Britto (2016) observa que Pelotas, em período recente (2009-2015), vem passando por um novo ciclo de acumulação, ancorado no setor da construção civil e imobiliário, que vem produzindo novos empreendimentos. Estes incluem tanto lançamentos de alto padrão (condomínios horizontais fechados) bem como os grandes conjuntos habitacionais, vinculados ao Programa Minha Casa Minha Vida, que ampliaram o processo de periferização da cidade. Segundo a autora, a incorporação desses artefatos na malha urbana reforça a formação de policentralidades e a dicotomia entre conjunção e disjunção do tecido social e urbano, ratificando, assim, a forma urbana como um grande patchwork ou colcha de retalhos.

Na sequência, apresentam-se os resultados da análise espacial por meio dos indicadores selecionados.

#### 4.1. Indicador de continuidade



**Figura 2.** Indicador de continuidade de Pelotas/RS, comparação para os anos de 2000 e 2015. (fonte: elaborado pelos autores; Google Earth histórico 2000 e 2015).

**Quadro 2.** Dados do indicador de continuidade (fonte: elaborado pelos autores).

	Perímetro polígono (m <sup>2</sup> )	Perímetro da urbanização (m <sup>2</sup> )	Indicador de continuidade
Ano 2000	53.085,410	173.585,992	0,306
Ano 2015	56.002,842	310.046,525	0,180

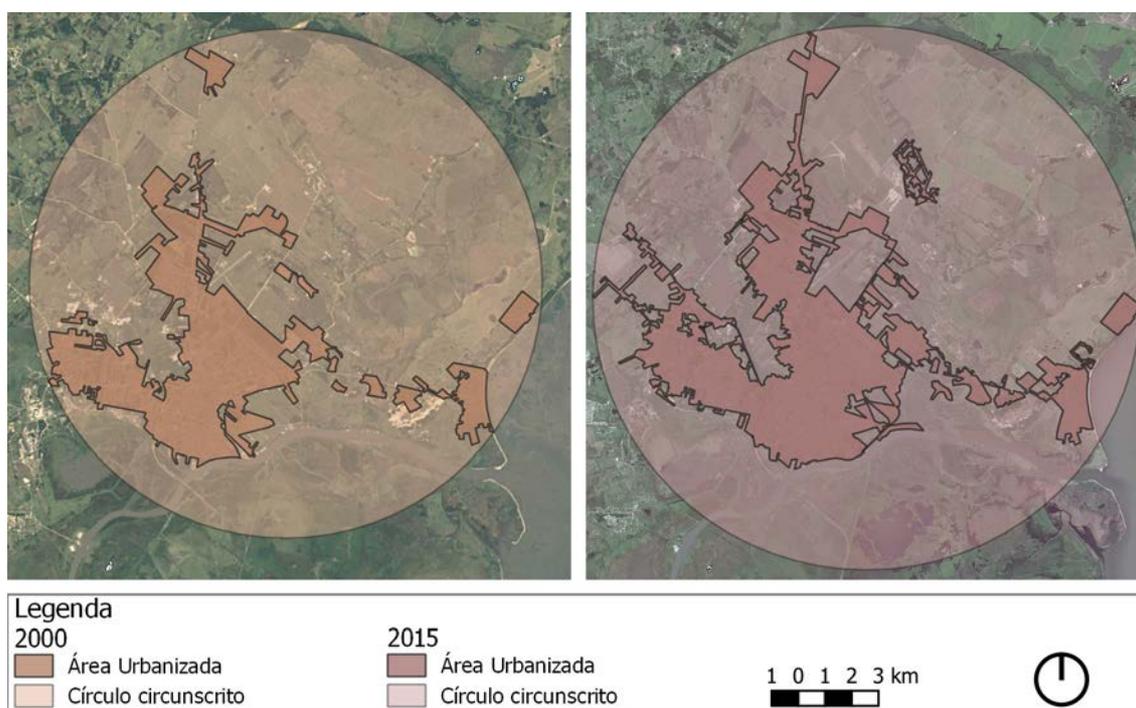
Pode-se observar na Figura 2 que Pelotas tem muitas reentrâncias e vazios internos resultando em valores baixos do indicador, em ambos os anos estudados. Ao comparar o perímetro da urbanização (Quadro 2), verifica-se que o mesmo teve um crescimento de 78% entre 2000 e 2015. Essa situação demonstra a presença de maiores reentrâncias ou vazios internos. Assim, esse significativo aumento resulta no indicador de continuidade com valor igual a 0,18 em 2015 e aponta que a forma urbana de Pelotas perdeu continuidade no período analisado.

Continuidade espacial é uma característica associada à eficiência urbana, já que as descontinuidades do tecido urbano implicam em percursos mais longos a usuários, redes de infraestrutura e serviços. No caso de Pelotas observa-se que as porções a leste (Laranjal) e a norte são muito descontínuas e geram grandes distâncias com relação à área mais central.

Pinto (2016) analisa a produção do Programa Minha Casa Minha Vida em Pelotas, entre os anos de 2009 a 2015, em que foram construídos 60 empreendimentos, totalizando 11.919 unidades habitacionais. O autor constata que a localização dos empreendimentos se deu nas franjas periurbanas da cidade, sendo que os empreendimentos voltados à Faixa 1 (menor renda) são os que possuem as localizações mais distantes da área consolidada. Essa localização periférica acarreta em dificuldades de locomoção e inserção social para os moradores, sendo indutoras de maior fragmentação do território.

#### 4.2. Indicador de irregularidade da forma

A Figura 3 apresenta os resultados deste indicador em Pelotas. Observa-se que a mancha urbana é bastante recortada e espalhada, gerando um círculo com área bastante superior à área urbana, tanto em 2000 como em 2015. No Quadro 3, observa-se que os valores do indicador são baixos (próximos a 0), apontando que a área urbana se caracteriza como fragmentada.



**Figura 3.** Indicador de irregularidade da forma de Pelotas/RS, comparação para os anos de 2000 e 2015. (fonte: elaborado pelos autores; Google Earth histórico 2000 e 2015).

**Quadro 3.** Dados do indicador de irregularidade da forma (fonte: elaborado pelos autores).

	Área da urbanização (m <sup>2</sup> )	Área do círculo (m <sup>2</sup> )	Indicador de forma
Ano 2000	48.598.775,313	289.330.424,367	0,168
Ano 2015	64.531.995,570	330.360.397,270	0,195

Observa-se que houve um aumento de 32% da área efetivamente urbanizada entre 2000 e 2015, e também, aumento de 14% da área do círculo. O círculo é a figura geométrica que minimiza a distância dos pontos extremos localizados no seu perímetro, com relação ao centro, com o aumento da área é possível inferir que as distâncias dos pontos extremos são maiores. O indicador aponta ligeiro aumento, de 0,168 no ano 2000 para 0,195 no ano 2015, indicando ter havido algum preenchimento de áreas mais internas. Tal fato não descaracteriza sua forma urbana como bastante fragmentada.

### 4.3. Indicador de densidade

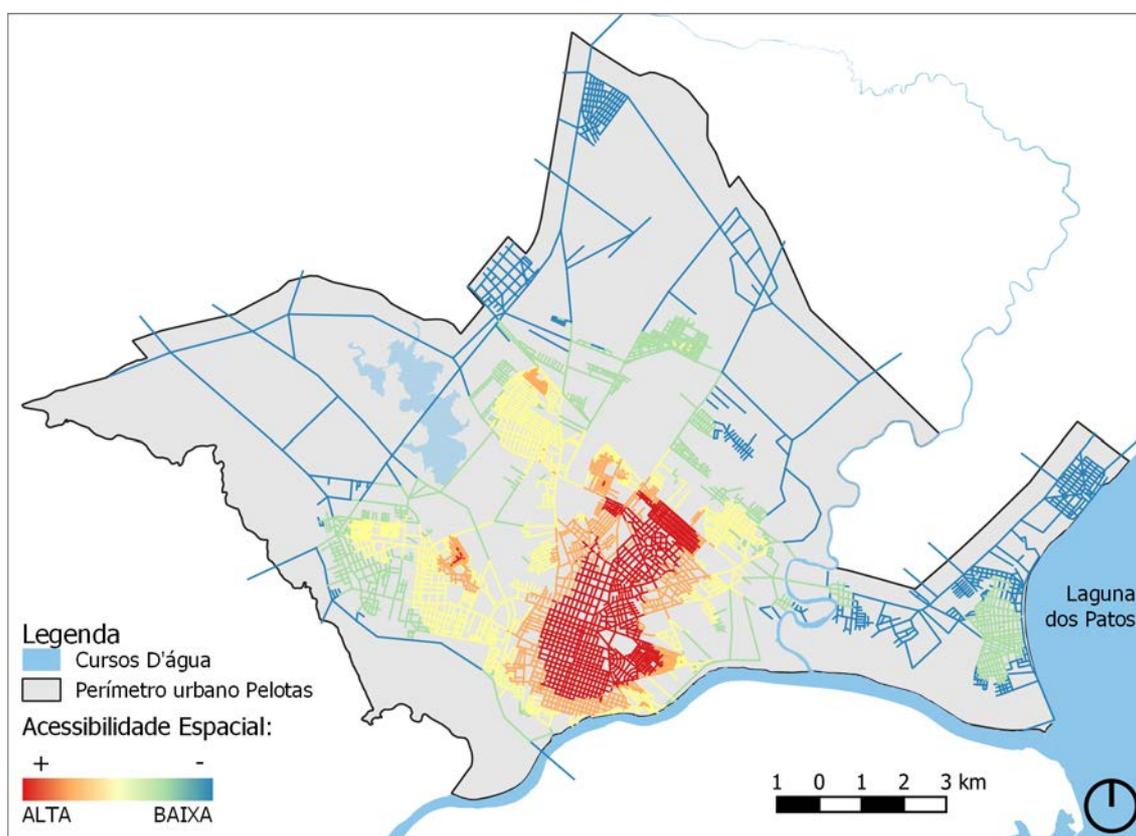
Quadro 4. População, Área Urbanizada e Densidade (fonte: elaborado pelos autores).

	População Urbana (hab)	Área Urbanizada (km <sup>2</sup> )	Densidade (hab/km <sup>2</sup> )
Ano 2000	301.081	48,599	6.195,20
Ano 2015	306.193	64,532	4.744,82
Comparação	+ 1,70%	+ 32,78%	- 23,41%

Obs. Fonte dos dados de população Ano 2000: Censo 2000. Fonte dos dados de população Ano 2015: Censo 2010.

O quadro 4 apresenta o indicador de densidade e demonstra que, enquanto o crescimento populacional foi pouco significativo (1,7%), a área urbanizada cresceu quase 33% entre 2000 e 2015. A densidade urbana diminuiu 23% no período analisado, assim, pode-se dizer que o aumento da área urbanizada ocorreu de forma relativamente independente da pressão devida ao crescimento demográfico.

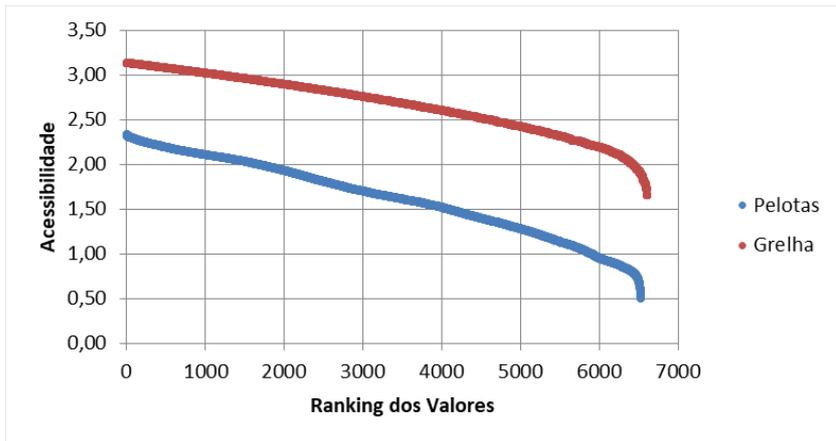
### 4.4. Indicador de Acessibilidade



**Figura 4.** Indicador de Acessibilidade de Pelotas/RS, para o ano de 2015. (fonte: elaborado pelos autores).

Os resultados da acessibilidade para o sistema global ( $R=n$ ), são apresentados na Figura 4. Os mapeamentos são classificados por meio de escala de cores, com representação de tons quentes para acessibilidade mais alta, e consecutivamente, tons frios para trechos de menor acessibilidade. A área central apresenta um traçado bastante regular, com orientação Norte-Sul, fruto dos primeiros loteamentos históricos de Pelotas, realizados entre 1815 e 1834. É possível identificar que essa área central apresenta maior acessibilidade, além de ser o local mais agregador de população e com maior diversidade de uso do solo. A malha urbana demonstra o

crescimento contínuo da área central e a coesão do conjunto; mas também fica evidente amplo território com predominância de crescimento descontínuo e de menor acessibilidade.



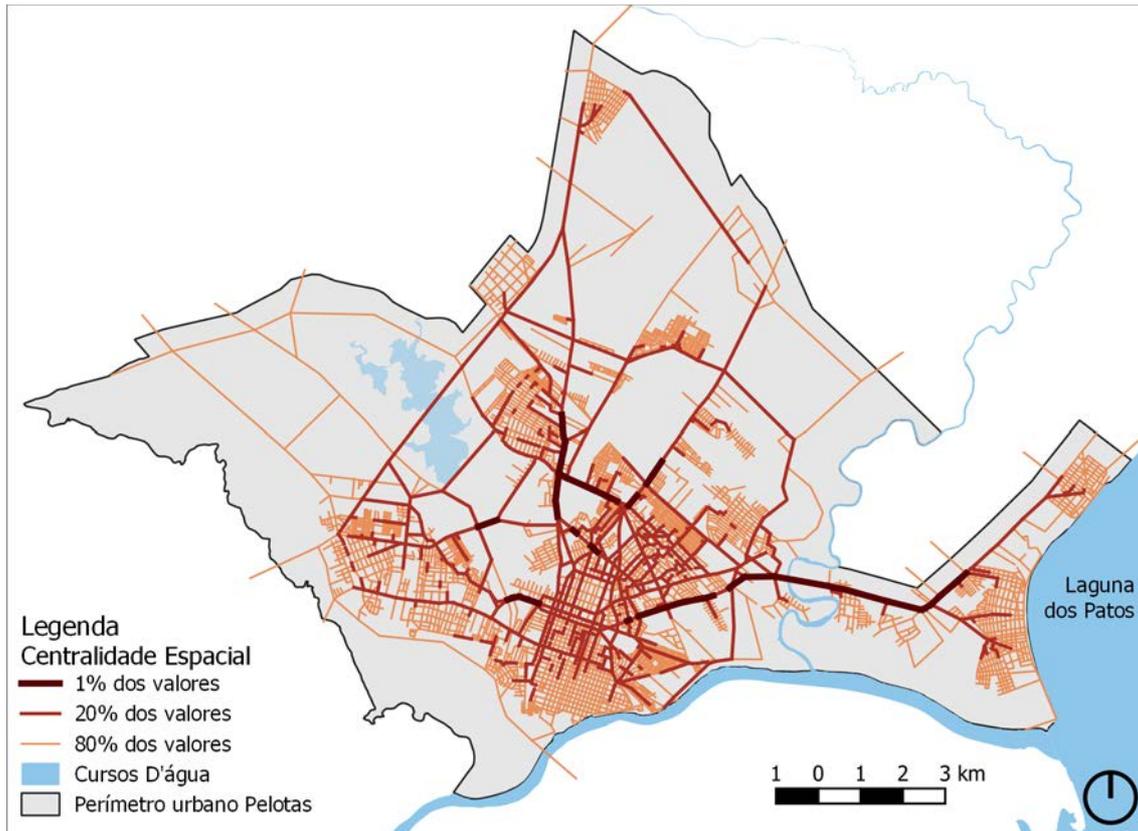
**Figura 5.** Acessibilidade comparativa entre Pelotas e a grelha de controle (ranking dos valores em ordem decrescente) (fonte: elaborado pelos autores).

A Figura 5 apresenta uma comparação dos valores de acessibilidade do sistema viário de Pelotas com uma grelha de controle, composta por 6.612 trechos dispostos em 58 linhas e 58 colunas. Como a grelha quadrada regular possui a menor diferença entre maior e menor valor de acessibilidade, tende a minimizar a hierarquia interna. Diferentemente do exemplo da grelha, o caso existente na cidade apresenta valores significativamente menores para a acessibilidade.

Isso significa que o sistema viário de Pelotas apresenta um traçado e uma estrutura tais que implicam no aumento generalizado das distâncias na rede. A grelha regular oferece uma grande quantidade de caminhos mínimos entre os pares de espaços, minimizando as distâncias. Já o traçado de Pelotas apresenta situações de poucas opções de ligações entre zonas, limitando a oferta de caminhos mínimos e, por consequência, aumentando as distâncias.

Vários fatores podem afetar essa condição de poucos caminhos mínimos no sistema. Uma delas é a presença de grandes áreas vazias entre setores urbanizados, típica da fragmentação urbana e presente na cidade de Pelotas. Os vazios interrompem o sistema viário e não permitem uma trama densa, que amplia a quantidade de caminhos mínimos. Outro fator é a presença de grandes condomínios fechados, pois eles também funcionam como barreiras à continuidade do sistema viário, aumentando as distâncias.

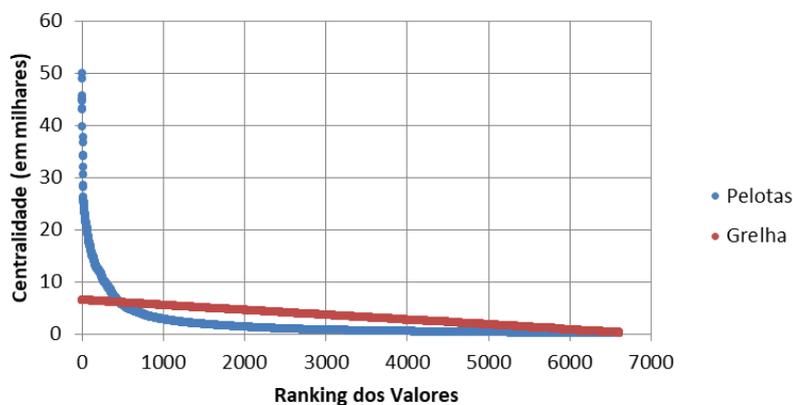
#### 4.5. Indicador de Centralidade



**Figura 6.** Indicador de Centralidade de Pelotas/RS, para o ano de 2015 (fonte: elaborado pelos autores).

O indicador de centralidade identifica a hierarquia viária implícita no sistema, de forma que as vias mais centrais são vias que encurtam caminhos no sistema, sendo potencialmente estruturadoras dos deslocamentos. A medida consegue capturar as vias arteriais da cidade, responsáveis por conectar as distintas partes (bairros) mais afastadas.

Interessante notar que muitas das vias destacadas como de alta centralidade, são a única alternativa de acesso para um trecho de urbanização, demonstrando um alto grau de vulnerabilidade do sistema.



**Figura 7.** Centralidade comparativa entre Pelotas e a grelha de controle (ranking dos valores em ordem decrescente) (fonte: elaborado pelos autores).

A Figura 7 apresenta a mesma comparação dos valores reais de centralidade para Pelotas e dos valores obtidos com a grelha perfeita. Para a grelha, os resultados têm características de uma

função linear, com valores próximos a uma média. Enquanto isso, o gráfico encontrado com resultados da cidade tem um comportamento do tipo lei de potência, no qual poucos trechos tem altíssima centralidade e a maioria tem baixos valores.

Segundo Jiang (2009), o sistema viário é organizado de forma hierárquica, sendo que a maioria das vias é ordinária, enquanto que apenas uma minoria é vital. Essa hierarquia pode ser descrita pelo princípio 80/20, isto é, 80% das vias são pouco conectadas (abaixo da média) enquanto que 20% das vias são bem conectadas (acima da média). Dentro desses 20%, há 1% das vias que são extremamente bem conectadas. A hipótese é que o fluxo de tráfego segue essa hierarquia, os 20% das vias mais importantes recebem 80% do fluxo de tráfego e o 1% delas recebem mais do que 20% do fluxo.

A medida de centralidade reflete essa hierarquia. Por identificar as vias que encurtam caminhos no sistema espacial, o indicador revela a importância das vias nas ligações entre pares de espaços. A queda bastante abrupta da curva da centralidade em Pelotas (Figura 7) mostra que a hierarquia da medida é mais acentuada na cidade, ou seja, uma menor proporção de vias têm altos valores de centralidade, reforçando a ideia da vulnerabilidade e dependência do sistema.

## 5. Conclusões

Este artigo explorou alguns indicadores de crescimento da forma urbana, tendo como estudo empírico a cidade de Pelotas, RS. Foi possível descrever e analisar alguns aspectos do padrão da ocupação urbana da cidade e de seu crescimento recente. Os resultados dos Indicadores de continuidade e irregularidade da forma apontam que o período 2000-2015 teve significativo crescimento por extensão, evidenciando um acréscimo na área efetivamente urbanizada, maiores distâncias entre os pontos extremos, maiores reentrâncias e vazios internos, associado à diminuição da densidade populacional.

Já os indicadores configuracionais enfocaram mais as características do traçado viário de Pelotas. Foi possível verificar duas morfologias de conformação estrutural do crescimento da cidade: um padrão de malha urbana regular e compacta na área central da cidade, decorrente de crescimento concêntrico por extensão contínua do território, que mantém a coesão do conjunto; e um padrão difuso, com aglomerações direcionadas por eixos de crescimento que apresentam rupturas com as partes antigas. Este último padrão constitui uma urbanização em saltos (*leapfrog development*) que se caracteriza pela fragmentação dos espaços urbanos e está associada à separação física dos núcleos de desenvolvimento urbano (OJIMA, 2007).

O indicador de acessibilidade configuracional permitiu identificar as localizações mais distantes, ou seja, aquelas com necessidade de maior deslocamento interno para atividades da vida cotidiana. O indicador de centralidade demonstrou as conexões existentes entre o padrão compacto e o difuso, e o quanto as vias estruturantes são significativas para o deslocamento até outros pontos da cidade. A configuração da cidade revelou uma forte hierarquia que se reflete em termos sócio-espaciais e na própria sustentabilidade urbana.

A abordagem adotada no presente trabalho buscou analisar o crescimento urbano em termos físico-relacionais, ou seja, aplicando indicadores que contribuam para a compreensão da estrutura da cidade e a coerência e coesão de suas partes. A metodologia mostrou o potencial dos modelos configuracionais para o desenvolvimento de indicadores de desempenho urbano. Futuros estudos poderão ampliar a exploração de indicadores espaciais e configuracionais. Os indicadores configuracionais podem incluir as atividades urbanas (empregos, serviços, população segmentada por renda, entre outros). A constituição de um sistema de suporte à decisão baseado num conjunto de indicadores de desempenho pode contribuir com o planejamento urbano e a sociedade na análise dos impactos das formas de crescimento urbano.

## 6. Referências

- ABRAMO, Pedro. A Cidade COM-FUSA. A mão inoxidável do mercado e a produção da estrutura urbana nas grandes metrópoles latino-americanas. In: R. B. Estudos Urbanos e Regionais, v.9, n.2, nov. 2007.
- BORSODORF, Axel. Cómo modelar el desarrollo y la dinámica de la ciudad latinoamericana. Eure, [s. l.], v. 29, n. 86, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.4067/s0250-71612003008600002>.
- DALCIN, G.; KRAFTA, R. GAUS: Graph Analysis of Urban Systems. Concessão: 2021. Versão 1.1. Disponível em: <https://github.com/gkdalcin/GAUS>. Acesso em: set. 2022.
- ECHENIQUE, Marcial et al. Growing Cities Sustainably – Does urban Form Really Matter? Journal of the American Planning Association, Volume 78, 2012 - Issue 2
- FREEMAN, L. C.: A set of measures of centrality based on betweenness. Sociometry. P. 35-41, 1977.
- GONÇALVES, Alice Rauber. Indicadores de Dispersão Urbana. Dissertação de Mestrado. PROPUR-UFRGS, 2011.
- GORDON, Peter; RICHARDSON, Harry W. Are compact cities a desirable planning goal? American Planning Association. Journal of the American Planning Association; Winter 1997; 63, pg. 95.
- GUTIERREZ, Ester J. B. Barro e sangue: mão-de-obra, arquitetura e urbanismo em Pelotas 1777-1888. 1999. 550f. Tese (Doutorado em História do Brasil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 1999.
- HILLIER, B.; HANSON, J. The social logic of space. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 1984.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Áreas urbanizadas do Brasil: 2015 / IBGE, Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.
- JIANG, Bin. Street Hierarchies: A Minority of Streets Account for a Majority of Traffic Flow. International Journal of Geographical Information Science, 23(8), 1033-1048, 2009.
- KRAFTA, R. Modelling intraurban configurational development. Environment and Planning B: Planning and Design, v. 21, n. 1, p 67–82, 1994.
- KRAFTA, Romulo. Notas de Aula de Morfologia Urbana, Ed. UFRGS, 2014.
- OJIMA, Ricardo. Dimensões da urbanização dispersa e proposta metodológica para estudos comparativos. Rev. Bras. Est. Pop., v. 24, n. 2, p. 277-300, jul./dez. 2007
- PANERAI, Philippe. Análise Urbana. Tradução de Francisco Leitão; Revisão técnica de Sylvia Ficher. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2014.
- PEREIRA, Rafael H.M.et al. Forma Urbana e Mobilidade Sustentável: Evidências de Cidades Brasileiras IPEA, 2022.
- PINTO, Jones Vieira. Contribuições para estudo do “Programa Minha Casa, Minha Vida” para uma cidade de porte médio, Pelotas-RS. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. UFPel, 2016.
- QGIS (2021). Sistema de Informações Geográficas do QGIS. Projeto Código Aberto Geospatial Foundation. Disponível em: <https://qgis.org/en/site/> Acesso em nov. 2021.
- SÁ BRITTO, N. D. S. Da cidade industrial segregada à cidade pós-industrial fragmentada: reflexões sobre a (re)produção do espaço urbano na cidade de Pelotas-RS. Geousp – Espaço e Tempo (Online), v. 20, n. 3, p. 585-601, mês. 2016. ISSN 2179-0892.

SOARES, P. R. R. Del Proyecto urbano a la producción del espacio: morfología urbana de la ciudad de Pelotas, Brasil (1812-2000). 2000. 507f. Dissertação (Doutorado em Geografia Humana) - Universidad de Barcelona, Barcelona, 2000.

SPOSITO, Maria Encarnação Beltrão. Urbanização Difusa e Cidades Dispersas: Perspectivas Espaço-Temporais Contemporâneas, pp. 38-54, in: REIS, Nestor Goulart (organizador). Sobre Dispersão Urbana. São Paulo: Via das Artes, 2009.