

A MORFOLOGIA DAS AREAS INDUSTRIAIS DE PORTO ALEGRE: UMA APROXIMAÇÃO DAS TEORIAS LOCACIONAIS ECONÔMICAS À METODOLOGIA DA SINTAXE ESPACIAL

Diego Altafini¹,
Andrea Da Costa Braga²,
Fábio Lúcio Lopes Zampieri³

^{1,2,3}Departamento de Planejamento Urbano e Regional – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO:

O artigo apresenta uma análise geoestatística da organização espacial da indústria promovendo uma aproximação entre os conceitos provenientes das teorias econômicas locacionais e as metodologias da sintaxe espacial. A sintaxe espacial consiste em uma abordagem teórico-metodológica da arquitetura que investiga as relações entre a configuração espacial do território e os fenômenos socioeconômicos. Assim sendo, o artigo tem como intuito de testar se as medidas da sintaxe – integração e escolha de rotas (*choice*) – podem retratar a lógica espacial e estabelecer correlações existentes entre o espaço e os processos de aglomeração industrial, conforme pressuposto pelas teorias locacionais econômicas. Para avaliar tais correlações, foi empregado como caso de análise a área do 4º Distrito-Corredor de Desenvolvimento de Porto Alegre/RS, espaço de relevante presença industrial na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA). A discussão dos resultados sugere que as metodologias da sintaxe espacial podem fornecer contribuições teóricas e práticas relevantes para as teorias econômicas de localização, uma vez que podem descrever atributos e efeitos sobre a lógica espacial de distribuição de atividades econômicas em contextos urbanos, fenômenos ainda pouco descritos e explorados por teorias econômicas de localização.

Palavras-chave: Organização Industrial, Distribuição Espacial, Atividade Econômica Regional
Área de submissão: Área 3: Economia Regional e Urbana
Classificação JEL: L0, R12, R14

ABSTRACT:

Paper presents a geostatistical analysis of industrial spatial organization promoting an approximation between concepts derived from economics locational theories and space syntax methodologies. Space syntax consists of an architecture-based theoretical-methodological approach that investigates relations amidst urban spatial configurations and socioeconomic phenomenon. Thus, paper intends do test if space syntax measures of integration and *choice* can portray the spatial logic and establish correlation between space and the processes of industrial agglomeration, as presupposed by economics locational theories. In order to evaluate such correlations it was established as case analysis the Porto Alegre / RS 4th District-Development Corridor area, which consists in a relevant industrial presence in the Porto Alegre Metropolitan Region (PAMR). The results discussion displayed here suggest that space syntax methodologies can provide relevant theoretical and practical contributions to economics locational theories, since they can depict attributes and effects regarding spatial logic of economic activities distribution in urban contexts, phenomena yet to be described and explored by economic locational theories.

Keywords: Industrial Organization, Spatial Distribution, Regional Economic Activity

INTRODUÇÃO

A ciência econômica trilhou um longo caminho na descrição de como as propriedades espaciais dos territórios se relacionam com os padrões de localização existentes nas atividades econômicas, sobretudo, como os locais de produção industrial se organizam territorialmente em escala regional. Embora um considerável número de pesquisas tenha sido realizado acerca desta problemática, a maior parte das modelagens espaciais, inspiradas na Geografia Econômica clássica se referem a uma variável definida como crucial para a determinação das relações econômicas no espaço: a distância métrica¹. Isto se deve, pois, o tempo de transporte – variável dependente da distância métrica – se configura como fundamental para a determinação dos custos de produção e composição dos preços das mercadorias, influenciando a competitividade industrial nos mercados locais, regionais e globais, motes tradicionais de análise econômica.

A distância métrica apareceu pela primeira vez em estudos regionais como uma variável-chave para a determinação dos padrões de localização industrial no estudo *Theory of Locations of Industries*, de Weber (1929), que elencou os fatores econômicos de custos de mão-de-obra e transporte como os únicos a influenciarem a localização e distribuição dos espaços industriais. Tais custos foram condicionados por Weber (1929) a uma distância, desde a localização da planta industrial, até uma série de pontos referenciais discretos no espaço, representando tanto os insumos – mão-de obra e matérias primas – quanto as áreas de distribuição da produção. De acordo com Weber (1929), as áreas industriais iriam se localizar apenas dentro de espaços que minimizassem os custos locacionais, orientadas por distâncias métricas mínimas em relação aos pontos referenciais, e a localização da planta industrial. Esta abordagem se adequava bem à abstração econômica das características físicas do território em escala regional e, portanto, foi seguida por outros economistas proeminentes como Lösch (1938) e Isard (1956), os quais também aprimoraram o trabalho de Weber (1929) sobre a dinâmica de localização industrial, sem, contudo, abandonar a distância métrica como referência espacial. Apesar da natureza clássica do trabalho de Weber (1929), mesmo os modelos contemporâneos da Nova Geografia Econômica que descrevem os processos de aglomeração industrial e crescimento urbano e regional, a exemplo de Fujita e Mori (1996) e Fujita e Thisse (2002), mantêm a distância métrica como medida comparativa na análise de como as atividades econômicas escolhem localizações em nível regional e de seus processos de aglomeração.

Embora a distância métrica consista em uma variável importante para as análises econômicas regionais, ela enfrenta sérios obstáculos quando aplicada à sistemas heterogêneos e de escala local, a exemplo das redes urbanas. Essas limitações ficam especialmente evidentes em modelos urbanos neoclássicos como os de Alonso (1964) e Muth (1969), que empregam a distância métrica para explicar as dinâmicas de localização, uso do solo e custos locacionais dentro de ambientes urbanos. Embora esses modelos espaciais descritivos permitam conclusões econômicas importantes, fornecendo evidências de que as indústrias tendem a se concentrar próximas aos *central business districts* (distritos centrais de negócios)², eles são notavelmente limitados na descrição das formas espaciais de distribuição e aglomeração adotadas pelas atividades industriais, não contemplando também a explicação dos “atratores” – vias de acesso rápido e alto fluxo – como determinantes locacionais. Esta deficiência se relaciona com a necessidade inerente às teorias locacionais econômicas de estabelecer pontos de referência discretos para avaliar distâncias métricas e fluxos espaciais. Isto é agravado, visto a recente modificação nos sistemas de produção e à interligação das cadeias industriais resultantes da convergência em direção à modelos de produção flexíveis, onde há um aumento no número de deslocamentos da produção intra-industrial entre múltiplos origem-destinos. Isto, aliado a

¹ A distância métrica quantifica o espaço percorrido em linha reta de um ponto a outro (ou espaço euclidiano).

² O conceito de *central bussiness districts* (CBD) ou distritos centrais de negócios advém do modelo urbano dos círculos ou zonas concêntricas, atribuído à Ecologia Urbana da Escola de Chicago, sendo empregado pela teoria urbana neoclássica com o intuito de espacializar as funções existentes na cidade. (MUTH, 1969)

estrutura configuracional fragmentada, descontínua e auto-organizada³ (PORTUGALLI, 2006) das cidades, torna imprático o eficiente emprego de uma abordagem econômico-espacial essencialmente não-baseada em redes para estudar as interações entre espaço urbano e indústria. As tentativas de abordar áreas urbanas e metropolitanas como sistemas complexos e utilizar diferentes conceitos de distância, como a topológica⁴, em análises econômicas são raras, dada a predominância dos modelos da Geografia Econômica clássica. Ainda assim, alternativas as análises econômicas ortodoxas são encontradas nos modelos de auto-organizados de evolução urbana de Allen (1997), que avalia o desempenho dos “atratores” morfológicos no crescimento e desenvolvimento de áreas industriais urbanas, em Boudeville (1972) que aplicou modelos de redes topológicas para descrever os processos de polarização industrial em escala regional, com base no trabalho de Perroux (1955), e em Crocco, Ruiz e Cavalcante (2008), que estudaram a relação entre espaço urbano-regional e serviços financeiros, através da construção de redes espaciais. Além destes, outros estudos interdisciplinares foram desenvolvidos, como Chiarardia et al. (2008), que correlaciona os valores de uso do solo urbano para as atividades urbanas com a acessibilidade relativa; Roccasalva & Pluviano (2012), que correlaciona as medidas urbanas de centralidade por intermediação com os efeitos de aglomeração industrial; e Yang (2015), que estuda a influência das propriedades morfológicas na localização e uso do solo por meio de *Big Data* e ferramentas da sintaxe espacial. Apesar de tais abordagens, ainda permanece a necessidade de uma abordagem econômica do espaço urbano, e esta pode ser realizada através de técnicas geoestatísticas, combinadas com a metodologia da sintaxe espacial⁵.

Isto posto, o objetivo do artigo é apresentar uma análise combinando conceitos de teorias econômicas locacionais e metodologias da sintaxe espacial, com o intuito de testar se as medidas derivadas da sintaxe – integração e escolha de rotas (*choice*)⁶ – podem retratar, e exibem correlações, com a lógica espacial dos processos de aglomeração industrial, conforme proposto pelas teorias econômicas urbanas. Este artigo também descreve as relações entre os potenciais de movimento e as probabilidades de fluxo através de redes urbanas e os padrões de organização de atividades industriais, avaliando os “atratores” urbanos a dinâmica de “efeitos de aglomeração” (*clustering effects*), tanto em escala global quanto em escala local. As relações propostas serão testadas empiricamente na área do 4º Distrito-Corredor de Desenvolvimento (PDDUA, 2010) em Porto Alegre/RS. Esta área, que compreende uma das principais localidades com presença industrial dentro da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), embora tenha passado – assim como Porto Alegre como um todo – por uma extensa reestruturação econômica ao longo do século XX e no início do século XXI, (ALONSO, 2001) ainda conserva a quase totalidade das estruturas industriais existentes na cidade, se configurando em uma importante fonte do valor adicionado bruto regional.

As propostas teórico-metodológicas de aproximação entre a sintaxe espacial e as teorias locacionais econômicas podem levar a inovações nos dois campos de estudo, pois retratam os atributos morfológicos da rede urbana e informam a lógica espacial da difusão das atividades econômicas e seus “efeitos de aglomeração” em contextos urbanos, fenômenos ainda pouco explorados e descritos pelo planejamento urbano e pelas teorias locacionais econômicas.

³ Portugalli (2006) define auto-organização como um processo em que uma forma reconhecível de ordenamento geral surge das interações locais entre partes de um sistema inicialmente desordenado, isto é, complexo.

⁴ A distância topológica quantifica o número de movimentos – passos topológicos – de um ponto a outro no espaço.

⁵ A sintaxe espacial é uma abordagem teórico-metodológica da arquitetura. Ela interpreta os ambientes urbanos como sistemas de obstruções ao movimento e aos fluxos, verificando a eficiência configuracional do urbano. Se torna possível através dela, identificar padrões de proximidade e distância topológica, e relações de continuidade e descontinuidade, oriundos das propriedades morfológicas dos espaços construídos, que exercem influência na organização socioeconômica do território. (HILLIER & HANSON, 1984).

⁶ A integração denota a profundidade do sistema ou rede, mensurando a acessibilidade relativa ou potencial de movimento entre um ponto perante a todos os demais. A escolha de rotas (*choice*) denota a dependência espacial do sistema ou rede em relação a determinados nós, apontando quais destes possuem maior probabilidade de fluxo.

MÉTODOS E BASES DE DADOS

Para avaliar as relações entre as teorias econômicas de localização e as metodologias de sintaxe espacial, foram sobrepostos dois conjuntos de dados em uma base comum no Sistema de Informação Geográfica (SIG) (QGIS, 2016): As áreas (estruturas) industriais de Porto Alegre, e sua rede rodoviária decomposta em um mapa angular segmentado⁷ (Figura 1).



Figura 1. Mapa Angular Segmentado de Porto Alegre, área de análise 4º Distrito-Corredor de Desenvolvimento e localização das estruturas industriais.

⁷ O mapa angular segmentado consiste em uma decomposição da rede urbana. Ele se diferencia do mapa axial pois, quebra os segmentos de linha quando há uma mudança significativa em seu ângulo (TURNER, 2007). A partir da decomposição são calculados os algoritmos da sintaxe espacial: Integração e Escolha de Rotas (*choice*).

Os dados referentes as áreas industriais compreendem todas as estruturas dedicadas à atividade industrial localizadas no perímetro do 4º Distrito-Corredor de Desenvolvimento. Composta por antigos bairros industriais em processo de reestruturação produtiva (4º Distrito) e pelo moderno pólo metropolitano industrial, promulgado pelo plano diretor no interior do Corredor de Desenvolvimento (PDDUA, 2010), esta área de análise corresponde a uma das regiões com maior presença industrial da RMPA, e consiste em uma importante fonte de valor adicionado bruto do município (ALONSO, 2001). A área também incorpora as principais rodovias interestaduais (BR-116, BR-290 e BR-448), além de vias arteriais importantes que atravessam a periferia norte de Porto Alegre, sendo representativas para a estruturação rodoviária das redes regionais de transportes. Com relação à coleta de dados locais para as áreas industriais, sua precisão foi obtida pela comparação entre dados empíricos coletados, mapas de estruturas, uso do solo e zoneamento de Porto Alegre (2010) e dados de satélite (Google Maps, 2016), mapeados em um único banco de dados representando poligonalmente a forma da estrutura. Estes polígonos também contêm informações sobre a área construída de cada estrutura, que é utilizada como uma variável de ponderação para as análises geostatísticas empregadas.

A rede rodoviária de Porto Alegre foi baseada na base (mapa) axial de Rigatti & Zampieri (2011), atualizada por Gambim (2014) para incorporar padrões recentes de expansão urbana, e posteriormente convertida em segmentos para a realização das análises angulares. O mapa segmentado resultante também foi parcialmente reconstruído nas áreas do 4º Distrito-Corredor de Desenvolvimento, utilizando uma representação a partir do método *road-centre line* baseada em Turner (2007), com intuito de refinar a modelagem da análise angular (HILLIER, 2007)⁸. Esta adaptação parcial para o *road-centre line* foi feita, pois consiste em um método mais acurado para a representação das medidas de escolha de rotas (*choice*) em análises angulares (TURNER, 2001; 2007), capturando melhor do que linhas axiais as diferenças nos potenciais de movimento e probabilidades de fluxo ao nível da quadra urbana. Além disso, esse método minimiza quaisquer efeitos de borda na análise de integração global (TURNER, 2001; 2007), o que é importante, pois a maior parte da área de análise está próxima à borda do sistema.

As medidas de integração e de escolha de rotas (*choice*) foram calculadas e analisadas globalmente (raio n - R_n) e localmente (raio *7 step* - R_7)⁹, através do *software* DepthmapX (TURNER, 2004), visando descrever distâncias topológicas e padrões morfológicos da rede urbana dentro da Área do 4º Distrito-Corredor de Desenvolvimento. Utilizar análises de integração e *choice* em *R7 step*, ao invés do *R3 step* tradicional (HILLIER, 2007), se justifica, pois, as diferenças de profundidade média entre as áreas norte de Porto Alegre (predominância de grades ortogonais) e sul (predominância de eixos descontínuos) são grandes e somente o *R7 step* é capaz de revelar a disparidade morfológica entre estes dois setores da cidade (BRAGA, 2014). Além disso, o *R7 step* consiste no último raio topológico capaz de representar centros locais, sem confinar os segmentos mais altos a áreas com padrões predominantemente ortogonais, antes que os resultados se aproximem demasiado do raio global (R_n), o que permite às análises locais, uma melhor descrição da lógica espacial.

As análises globais e locais realizadas têm suas representações restritas a determinados percentis – que representam os segmentos de mais alto valor para cada análise – com o intuito de estabelecer um parâmetro para a correlação feita através da análise geostatística. O cálculo destes percentis, contudo, não é arbitrário e segue a lógica proposta pelo Princípio de Distribuição de Pareto ou Lei de Pareto (PARETO, 1971), onde, para consistir em uma correlação significativa, pelo menos 20% das causas – representadas pelos valores dos

⁸ O método *road centre line* utiliza os eixos dos centros de rua para a montagem do mapa angular segmentado. Isto permite a empregar de fontes de dados abertas como o Google Maps (2016) na construção da decomposição angular, levando também a uma maior acuidade na representação dos segmentos de rua a serem calculados pelas medidas sintáticas (TURNER, 2007)

⁹ O raio n (R_n) determina que a medida sintática em questão foi calculada até o último passo topológico possível (global), já o raio *R7 step* denota que a medida foi calculada apenas até o sétimo passo topológico (local).

segmentos da análise angular – devem ser responsáveis por pelo menos 80% dos efeitos – determinados pelas localizações das estruturas industriais. Essa base de correlação estabelecida por Pareto (1971), entretanto, é redutível a percentis superiores com o objetivo de estabelecer correlações mais robustas e precisas entre causa e efeito. As análises empíricas utilizaram, além dos percentis Paretianos acima do 80° (20%) para avaliar correlações de base, percentis acima do 95° (5%), no intuito de reduzir para metade o espectro de correlação de 10%, anteriormente utilizado por Roccasalva & Pluviano (2012), e verificar de forma mais detalhada as correspondências entre organização industrial e morfologia urbana. As tabelas abaixo demonstram os primeiros valores de segmentos para os percentis em cada análise angular.

Número Total de Segmentos	Valor do segmento 20% Integração – Rn	Valor do segmento 20% Integração – R7	Valor do segmento 20% Choice – Rn	Valor do segmento 20% Choice– R7
66627	5.613,47	68,97	2.179.892	830,00

Tabela 1

Número total de segmentos da análise angular e valor do primeiro segmento acima do 80° percentil - top 20% (Distribuição de Pareto) para integração e *choice*

Número Total de Segmentos	Valor do segmento 5% Integração – Rn	Valor do segmento 5% Integração – R7	Valor do segmento 5% Choice – Rn	Valor do segmento 5% Choice– R7
66627	6.214,79	89,35	31.794.504,00	1.551,00

Tabela 2

Número total de segmentos da análise angular e valor do primeiro segmento acima do 95° percentil - top 5% para integração e *choice*

As análises angulares da sintaxe espacial foram combinadas e sobrepostas a uma análise geostatística de difusão espacial baseada no Método de Distribuição de Kernel (WAND & JONES 1995, BAILEY & GATRELL, 1995), visando estabelecer correlações entre as características morfológicas encontradas em espaços urbanos - representados pelos resultados obtidos pelas medidas de integração e *choice*, e os padrões de organização das áreas industriais. Tal combinação entre análises permite detectar onde se localizam os "atratores" urbanos ou "eixos de concentração" e observar onde os efeitos de aglomeração (*clustering effects*)¹⁰ industriais acontecem, permitindo uma aproximação da metodologia de avaliação do espaço urbano utilizada pela sintaxe espacial à dinâmica de distribuição proposta conforme as teorias econômicas de localização.

O Método de Distribuição de Kernel, ou Estimação de Densidade de Kernel, consiste em uma abordagem não paramétrica para estimar as funções de densidade espacial de uma variável dentro de áreas determinadas. Assim, este método permite visualizar variáveis padrões e tendências na distribuição espacial, aglomeração e potencial de difusão, se utilizando de uma amostra de dados finita (MURPHY, 2012). É possível, implementando este método em uma base de dados SIG, espacializar dados das áreas industriais recolhidos através de um mapa de calor ou *heatmap*, o que revela, não somente áreas com maior densidade de estruturas – denotando padrões de aglomeração industrial – como também avalia a probabilidade de difusão e cobertura destas estruturas, representadas a partir de uma distância métrica baseada em um raio de abrangência. Assim sendo, este método pode ser empregado como uma maneira de avaliar a dependência do agrupamento industrial – em termos de proximidade – em relação a rede de circulação que este está localizado, estabelecendo os "atratores" espaciais responsáveis

¹⁰ O termo *clustering effects* foi empregado por Roccasalva & Pluviano (2012) para descrever os efeitos causados por determinadas estruturas morfológicas na tendência de aglomeração industrial.

pelos efeitos de aglomeração através da correlação com os potenciais de movimento (integração) e probabilidades de fluxo (*choice*) em diferentes escalas.

A Estimativa de Kernel usada nas análises empíricas é modelada através de uma função de Epanechnikov (1969), que possui uma variância mínima e conduz a melhores resultados no que diz respeito às medidas de densidade de aglomeração e difusão espacial. Os raios métricos são ajustados para 500m (R500) – a distância média de deslocamentos intra-industriais curtos – a partir dos centroides dos polígonos que representam as estruturas industriais, ponderados por sua área construída. Embora o uso de centroides não seja o ideal, pois ele subestima os raios de difusão e a extensão da área de influência do polígono, visto que o raio não irradia da forma, mas sim de seu ponto central, esta foi a melhor abordagem possível a permitir análises espaciais concisas, dado que o *software* QGIS (2016) não executa a Estimativa de Kernel poligonal.

RESULTADOS

Os resultados das análises indicam a existência de correlações geoestatísticas robustas entre a organização e distribuição da atividade industrial e as propriedades morfológicas da rede urbana visualizadas através das medidas sintáticas de integração e escolha de rotas (*choice*), tanto a nível local como global.

Tais análises demonstram que a localização das áreas industriais está associada às centralidades de proximidade (*closeness*)¹¹, e suas tendências locais estão atreladas às principais rotas de integração global, mas, sobretudo, local, indicando uma vinculação significativa aos potenciais de movimento proporcionados por espaços com maior acessibilidade relativa. Isso reforça a lógica de vizinhança espacial na formação de aglomerações industriais dentro de espaços urbanos, como afirmado pelas teorias locais econômicas, uma vez que a análise explica a dinâmica dos movimentos intra-industriais e regionais, bem como aponta sua relação próxima com as atividades de varejo e serviços. Além disso, esses resultados também estão relacionados aos padrões de difusão das atividades industriais, uma vez que sugerem que a integração possui um papel relevante no desenvolvimento inicial dos espaços industriais.

Por outro lado, os resultados referentes às medidas de escolha de rotas (*choice*) indicam que as localizações das áreas industriais exibem notável dependência com relação às centralidades de intermediação (*betweenness*)¹², apresentando tendências locais altamente correlacionadas às altas probabilidades de fluxo em escalas globais e locais, onde cada uma indica uma lógica configuracional específica. Os resultados globais enfatizam a relevância da *supergrid*¹³ urbana quanto à organização das áreas industriais, dado que esses trechos rodoviários funcionam como "eixos de concentração", "atratores" que conduzem os processos de aglomeração industrial dentro da cidade, sendo responsáveis pela existência de "efeitos de aglomeração". Os resultados em escala local, por outro lado, denotam tendências industriais voltadas à formação "enclaves", locais com altas probabilidades de fluxo local, que tendem a ser segregados do tráfego urbano principal. Tais espaços favorecem deslocamentos curtos entre indústrias, proporcionando uma redução no tempo de viagem e aumentando a eficiência no movimento da produção. Como resultado, isto, ao lado da lógica de vizinhança espacial, tende a levar a custos de produção decrescentes, a uma maior produtividade e a uma maior tendência de aglomeração industrial.

¹¹ A centralidade por proximidade (*closeness*) denota o movimento "origem-destino", medindo a profundidade do sistema ou a conectividade da rede. Seu cálculo é feito ao mensurar a distância topológica (número de passos topológicos) de um ponto (ou nó) a todos os demais no sistema ou rede urbana.

¹² A centralidade por intermediação (*betweenness*) denota o "movimento-por", e demonstra a dependência espacial com relação a um ponto (ou nó) do sistema ou rede. Seu cálculo é feito ao contabilizar o número de vezes que um ponto é transpassado para se chegar a todos os demais no sistema ou rede urbana.

¹³ A *supergrid* consiste na super-estrutura viária responsável por interconectar grandes distâncias na rede urbana, de modo geral, é composta pelas vias arteriais mais importantes da cidade.

Rede de Circulação Angular Segmentada e Análise da Estimativa de Kernel	Total Áreas Industriais	Áreas Industriais Dentro do Raio de 500m	Áreas Industriais Fora do Raio de 500m	Correlação Análise Angular
Integração Rn (Top 20% Segmentos)	1851	1551	300	83,8%
Integração Rn (Top 5% Segmentos)	1851	1026	825	55,4%
Integração R7 (Top 20% Segmentos)	1851	1840	11	99,4%
Integração R7 (Top 5% Segmentos)	1851	1521	330	82,2%

Tabela 3

Número total de áreas industriais; Estimativa de Kernel do número de locais industriais dentro e fora do raio de 500m, de ao menos um segmento de rota acima do percentil especificado (20% e 5%); e Correlação entre as análises angulares de integração e a localização de áreas industriais.

A análise da integração global (Figura 1) estabelece que 83,8% (Tabela 3) do total de áreas industriais analisadas estão localizadas dentro de um raio de 500m de pelo menos um segmento dentro da restrição de 20%, revelando a existência de uma correlação de causa-efeito Paretiana (1971) entre alta acessibilidade relativa e as tendências de distribuição e organização industrial a nível global. No entanto, quando um percentual mais restrito é aplicado à análise da integração global (Figura 2), se determina que apenas 55,4% (Tabela 3) das áreas industriais estão localizadas dentro de um raio de 500m de pelo menos um segmento dentro da restrição de 5%, uma correlação pequena se comparada com os resultados Paretianos, sendo 28,4 p.p. mais baixa. Além disso, se pode observar que essas recorrências estão em áreas adjacentes aos eixos de maior acessibilidade global, afastados dos segmentos mais integrados dentro da restrição e do núcleo de acessibilidade relativa. Tal análise revela que a alta acessibilidade global tem uma importância menor como "efeito de aglomeração" industrial do que o antecipado. Todavia, cabe ressaltar que as maiores aglomerações industriais (indicadas pelas manchas mais escuras na Estimativa de Kernel) são encontradas em áreas entre segmentos bastante integrados. Tais locais correspondem a antiga área industrial urbana, sugerindo que áreas integradas podem funcionar como "atratores" nos estágios iniciais de desenvolvimento industrial. Isso corrobora com as proposições da economia urbana sobre a localização industrial e o uso do solo (ALONSO, 1964; MUTH, 1969; ALLEN, 1995), pois a lógica espacial visualizada nas análises empíricas se aproxima as teorizações enunciadas por esses estudos.

As análises de integração local indicam que as indústrias têm uma relação mais complexa com centralidades de proximidade do que as análises globais podem efetivamente avaliar. A análise Paretiana (Figura 3) revela que 99,4% (Tabela 3) das áreas industriais estão localizadas dentro de um raio de 500m de pelo menos um segmento dentro da restrição de 20%, indicando uma relação de causa-efeito robusta entre tendências de distribuição das áreas industriais e a maior parte dos segmentos integrados em uma escala local, muito acima do viés estabelecido pela Distribuição Paretiana (1971). A partir dessa correlação, é possível explicar a dinâmica de movimento e a lógica de vizinhança espacial em áreas industriais, como pressuposto pelas teorias econômicas. Condições elevadas de acessibilidade local implicam em rotas de transporte eficientes dentro das áreas industriais, o que diminui os custos de transporte e melhora a produtividade das firmas (PORTER, 1998), levando a uma organização interdependente nessas áreas. É importante ressaltar, contudo, que áreas urbanas com os valores mais elevados de integração local são raramente ocupadas por estruturas industriais, conforme observado pela ausência de manchas escuras na Estimativa de Kernel próximo dos centros de integração em R7. Esses núcleos de integração local – encontrados em áreas de grade ortogonal – estão geralmente comprometidos com atividades de comércio e serviços (ALONSO, 1964; YANG, 2015), as quais demandam um maior acesso ao público, portanto, maior acessibilidade relativa. Essas tendências locais podem ser melhor denotadas através da aplicação de um percentil restrito na análise de integração local (Figura 4), que revela que 83,2% (Tabela 3) das áreas industriais estão localizadas dentro de um raio de 500m de pelo menos um segmento dentro da restrição

de 5%. Embora apresente uma alta correlação, reforçando a correlação Paretiana, a diferença de 16,6 p.p, demonstra que uma parcela importante das localizações industriais está dentro de áreas de média integração local que, de modo geral, também têm um menor valor de troca (CHIARARDIA, et. al 2008), sendo mais atrativas para atividades industriais intensivas em área. A lógica espacial encontrada nas análises de integração local corrobora com os padrões estabelecidos por Isard (1956) com referência as localizações industriais e suas relações com o transporte, da mesma forma, concorda com os pressupostos econômicos de Alonso (1964) e Muth (1969) sobre distribuição industrial urbana, e com as considerações de Yang (2015) sobre os padrões de localização funcional em meios urbanos.

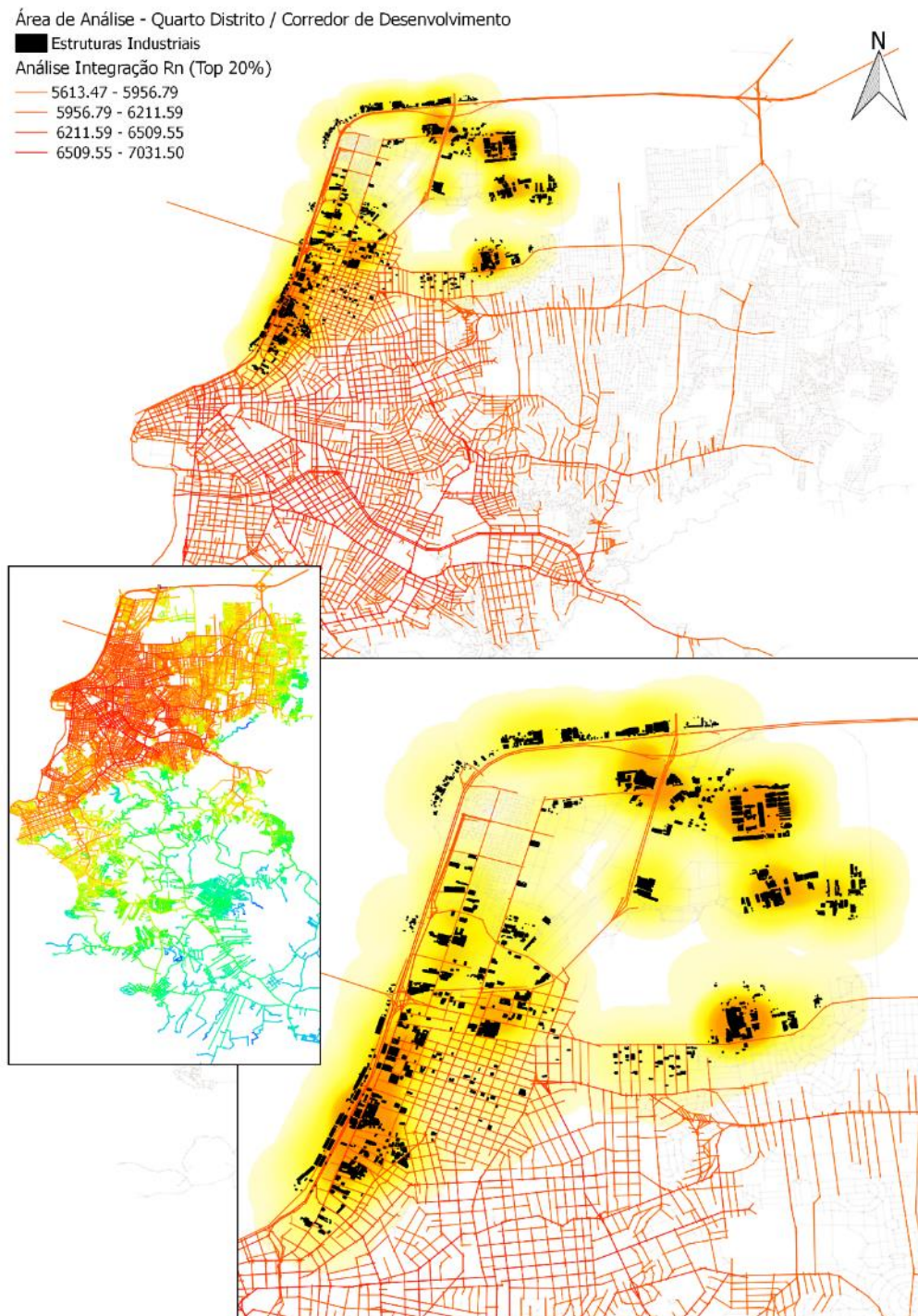


Figura 2. Análise Angular – Integração Rn (top 20% segmentos) e Estimativa de Kernel das áreas industriais de Porto Alegre (raio de 500m)

Área de Análise - Quarto Distrito / Corredor de Desenvolvimento

■ Estruturas Industriais

Análise Integração Rn (Top 5%)

— 6213.792 - 6509.550

— 6509.550 - 7031.500

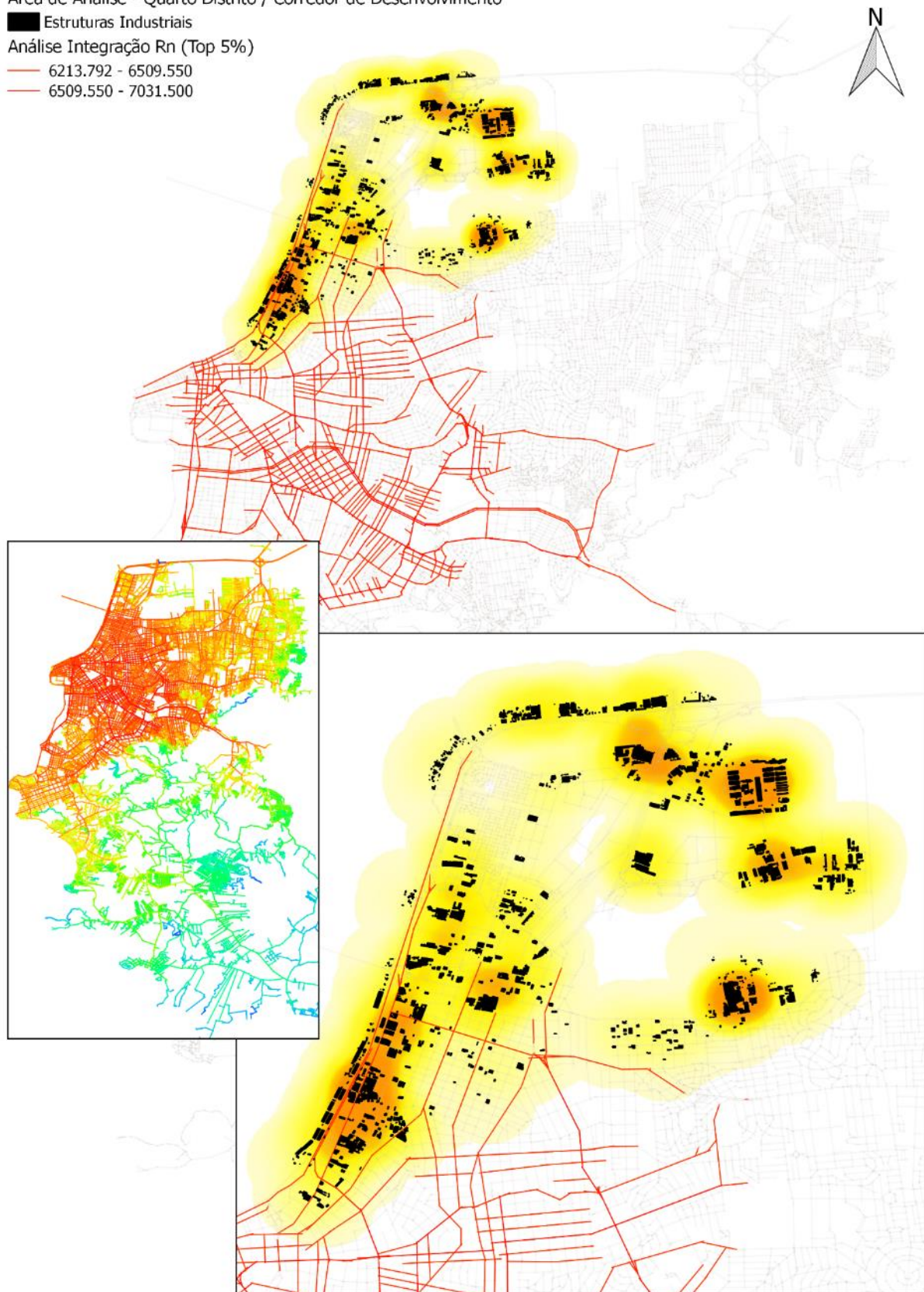


Figura 3. Análise Angular – Integração Rn (top 5% segmentos) e Estimativa de Kernel das áreas industriais de Porto Alegre (raio de 500m)

Área de Análise - Quarto Distrito / Corredor de Desenvolvimento

■ Estruturas Industriais

Análise Integração R7 (Top 20%)

- 68.97 - 76.90
- 76.90 - 83.87
- 83.87 - 91.23
- 91.23 - 98.81
- 98.81 - 106.74
- 106.74 - 115.99
- 115.99 - 127.53
- 127.53 - 139.77
- 139.77 - 154.86
- 154.86 - 176.54

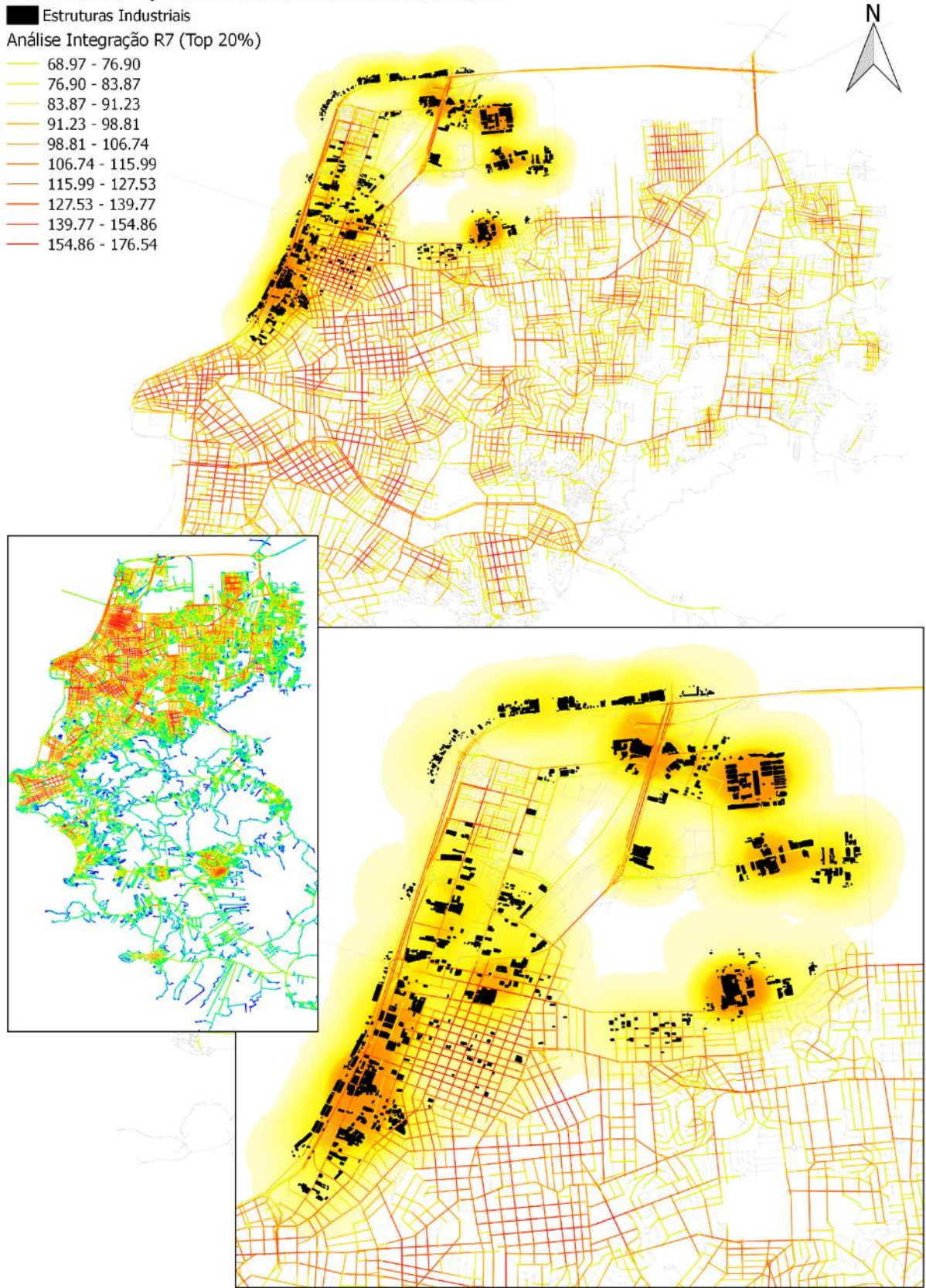


Figura 4. Análise Angular – Integração R7 (top 20% segmentos) e Estimativa de Kernel das áreas industriais de Porto Alegre (raio de 500m)

Área de Análise - Quarto Distrito / Corredor de Desenvolvimento

■ Estruturas Industriais

Análise Integração R7 (Top 5%)

- 89.35 - 98.81
- 98.81 - 106.74
- 106.74 - 115.99
- 115.99 - 127.53
- 127.53 - 139.77
- 139.77 - 154.86
- 154.86 - 176.54

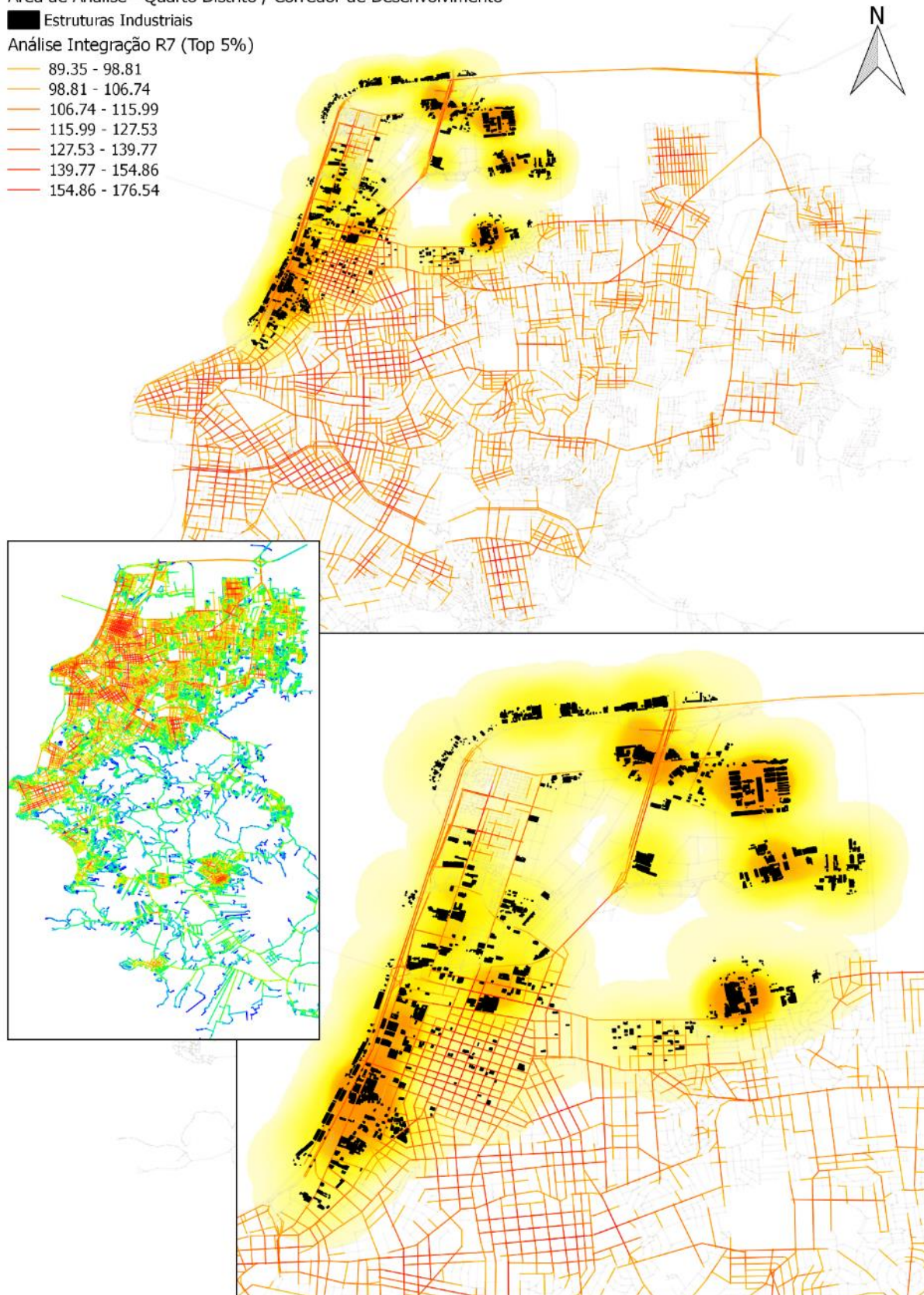


Figura 5. Análise Angular – Integração R7 (top 5% segmentos) e Estimativa de Kernel das áreas industriais de Porto Alegre (raio de 500m)

Rede de Circulação Angular Segmentada e Análise da Estimativa de Kernel	Total Áreas Industriais	Áreas Industriais Dentro do Raio de 500m	Áreas Industriais Fora do Raio de 500m	Correlação Análise Angular
Choice Rn (Top 20% Segmentos)	1851	1806	45	97,6%
Choice Rn (Top 5% Segmentos)	1851	1481	370	80,0%
Choice R7 (Top 20% Segmentos)	1851	1832	19	99,0%
Choice R7 (Top 5% Segmentos)	1851	1530	321	82,7%

Table 4

Número total de áreas industriais; Estimativa de Kernel do número de locais industriais dentro e fora do raio de 500m, de ao menos um segmento de rota acima do percentil especificado (20% e 5%); e Correlação entre as análises angulares de escolha de rotas *choice* e a localização de áreas industriais.

A análise da escolha de rotas (*choice*) global (Figura 5) estabelece que 97,6% (Tabela 4) das áreas industriais analisadas estão localizadas a 500m de pelo menos um segmento dentro dos 20% de restrição, o que constitui uma correlação Paretiana significativa (1971). A Estimativa de Kernel demonstra que as tendências locais da indústria estão estritamente relacionadas às rodovias interestaduais e, em menor grau, as vias arteriais e auxiliares (TURNER, 2009), responsáveis pela estruturação urbana da área do 4º Distrito-Corredor de Desenvolvimento. Cabe ressaltar que estes segmentos de rota são compostos, sobretudo, pelos menores valores da restrição da análise de *choice* na correlação Paretiana (1971), dado que os segmentos de maior valor consistem nas vias arteriais perimetrais responsáveis por conectar ligar as áreas norte e sul da cidade (Figura 5). Ainda que esta correlação seja substancial, explicando a lógica espacial de distribuição das áreas industriais com relação à sua dependência por segmentos com altas probabilidades de fluxo, é através de uma maior restrição que a dinâmica configuracional regional se torna discernível. Quando restrita a um percentil mais alto, a análise de *choice* global (Figura 6) indica que 80% (Tabela 4) das áreas industriais estão localizadas em até 500m de um segmento dentro dos 5% de restrição. Esses segmentos representam com precisão a *supergrid* da cidade, composta pelas rodovias interestaduais e pelas principais vias arteriais existentes na área do 4º Distrito-Corredor de Desenvolvimento, que funcionam como "eixo de concentração", sendo responsáveis por grande parte dos fluxos de transporte para fora da área industrial em direção à Região Metropolitana de Porto Alegre. Essas estradas de alta probabilidade de fluxo, observadas através da análise angular, conduzem os processos de polarização industrial dentro da cidade, conforme visualizado pela Estimativa de Kernel indicando que as aglomerações industriais tendem a emergir em suas vizinhanças, em uma lógica semelhante à proposta no modelo de evolução urbana de Allen (1995). Assim sendo, a alta probabilidade de fluxos é um dos principais responsáveis morfológicos pelos "efeitos de aglomeração" industriais, conforme indicado pelas teorias de localização econômica.

A análise de escolha de rotas (*choice*) local (Figura 7) também exibe uma alta correlação Paretiana (1971), pois 99,0% (Tabela 4) das áreas industriais estão localizadas a de 500m de pelo menos um segmento dentro da restrição de 20%. Esta análise revela a tendência industrial de formar "enclaves espaciais" em locais com altas probabilidades de fluxo local, os quais tendem a ser segregados do tráfego urbano principal. Esse fenômeno de "enclaves" também é verificado em uma análise de *choice* local utilizando um percentil mais restrito. Esta análise, que também revela as conexões viárias entre as áreas industriais (Figura 8), demonstra que 82,7% (Tabela 4) das áreas industriais estão localizados a 500m de pelo menos um segmento dentro da restrição de 5%. Tais "enclaves espaciais" favorecem deslocamentos mais curtos dentro das áreas industriais, proporcionando uma redução no tempo de viagem, o que tende a aumentar a eficiência no movimento da produção. Como resultado, ao lado da lógica de vizinhança espacial, promovida pela alta integração local – que também se sobrepõe as rotas de *choice* local – proporciona custos decrescentes na produção, maior produtividade, levando a à ocorrência de "efeitos de aglomeração" industrial nas redes urbanas. Esses resultados corroboram as afirmações de Roccasalva & Pluviano (2012) sobre o papel da centralidade entre

as intermediações como principal “atrator” morfológico na emergência de aglomerações industriais dentro dos espaços urbanos, o que também coincide com as proposições da economia teórica sobre a dinâmica de organização espacial industrial.

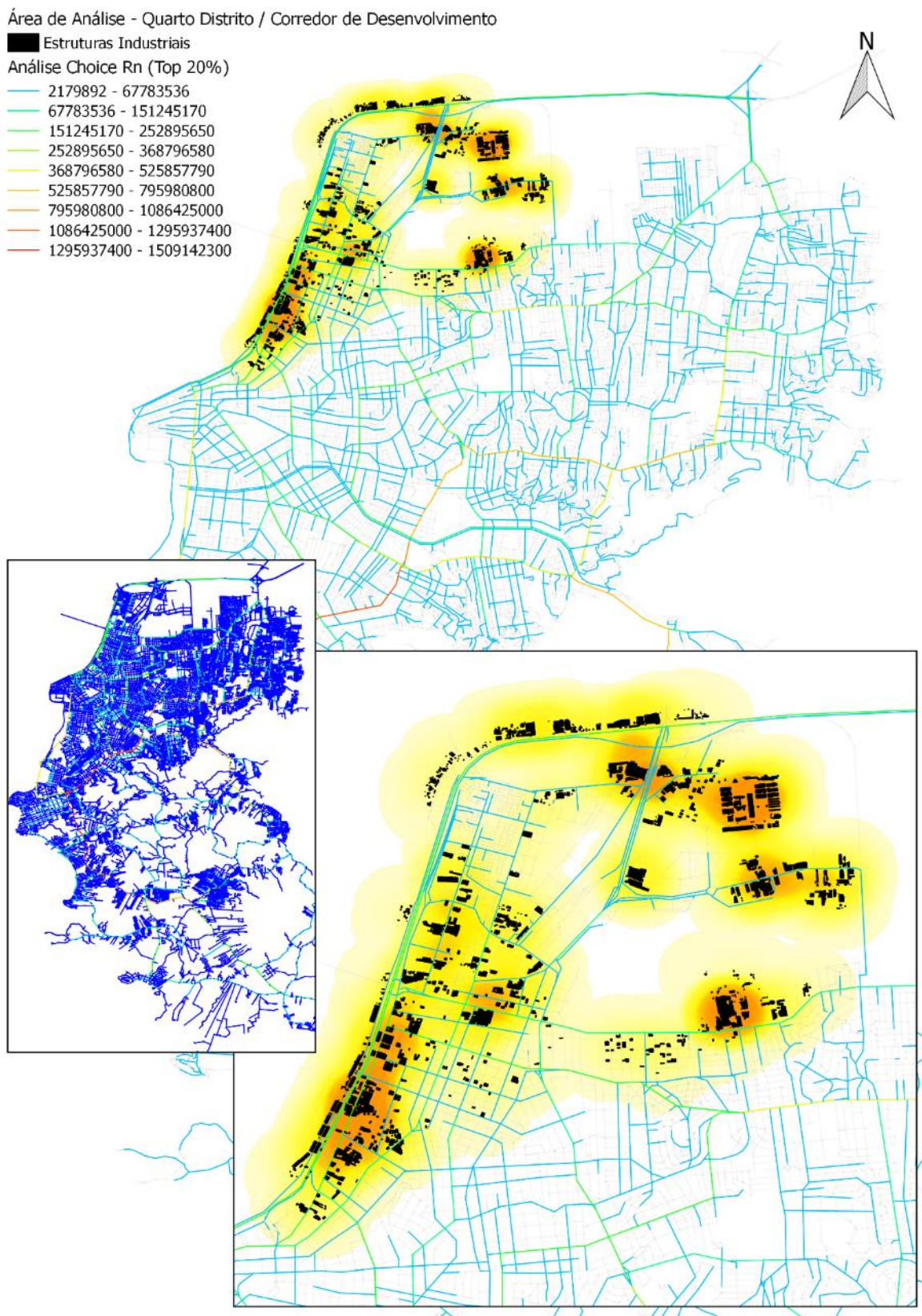


Figura 6. Análise Angular – Choice Rn (top 20% segmentos) e Estimativa de Kernel das áreas industriais de Porto Alegre (raio de 500m)

Área de Análise - Quarto Distrito / Corredor de Desenvolvimento

■ Estruturas Industriais

Análise Choice Rn (Top 5%)

- 31794504 - 67783536
- 67783536 - 151245170
- 151245170 - 252895650
- 252895650 - 368796580
- 368796580 - 525857790
- 525857790 - 795980800
- 795980800 - 1086425000
- 1086425000 - 1295937400
- 1295937400 - 1509142300

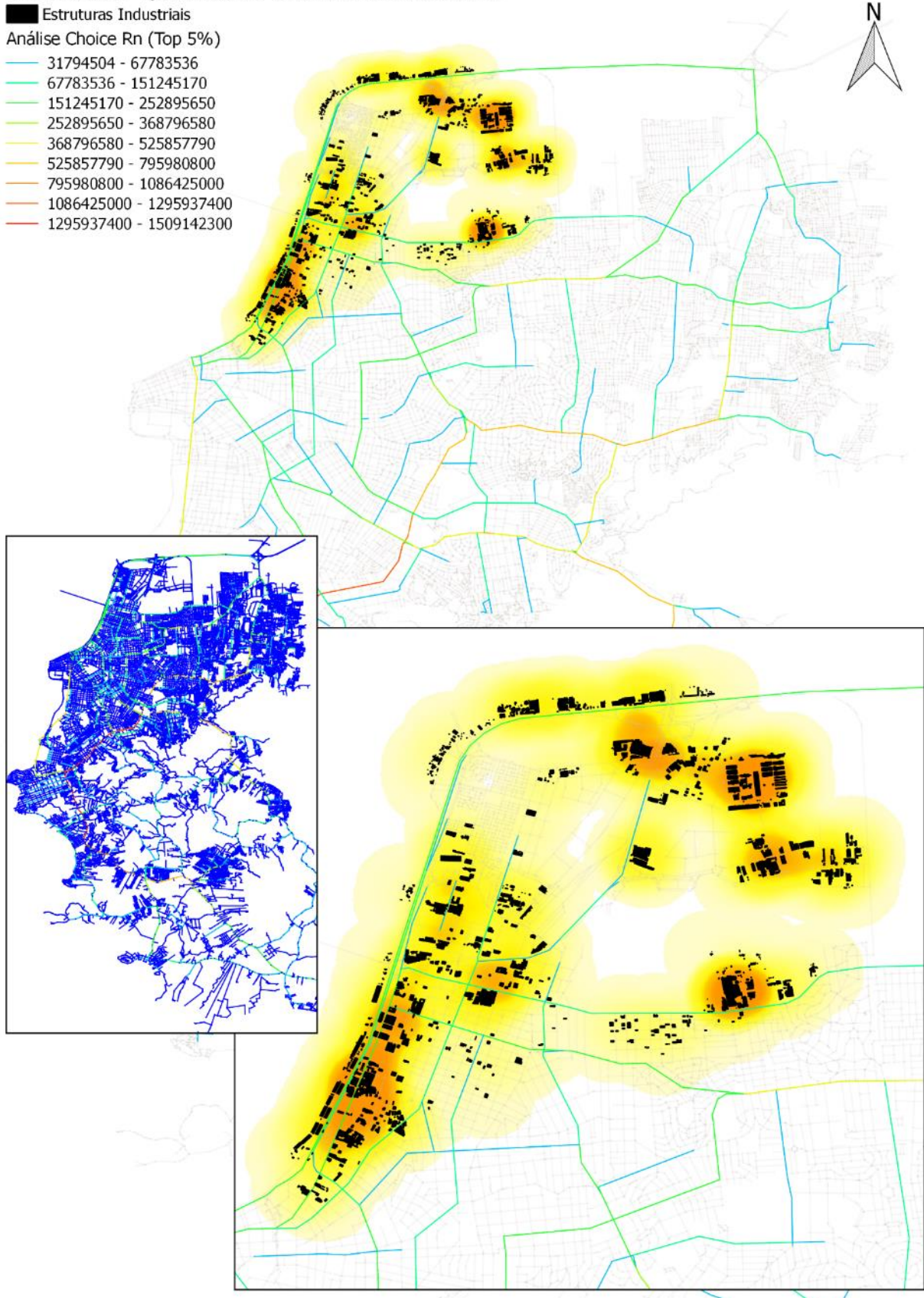


Figura 7. Análise Angular – Choice Rn (top 5% segmentos) e Estimativa de Kernel das áreas industriais de Porto Alegre (raio de 500m)

Área de Análise - Quarto Distrito / Corredor de Desenvolvimento

■ Estruturas Industriais

Análise Choice R7 (Top 20%)

830.00 - 1059.00

1059.00 - 1551.00

1551.00 - 2024.00

2024.00 - 2864.00

2864.00 - 6003.00

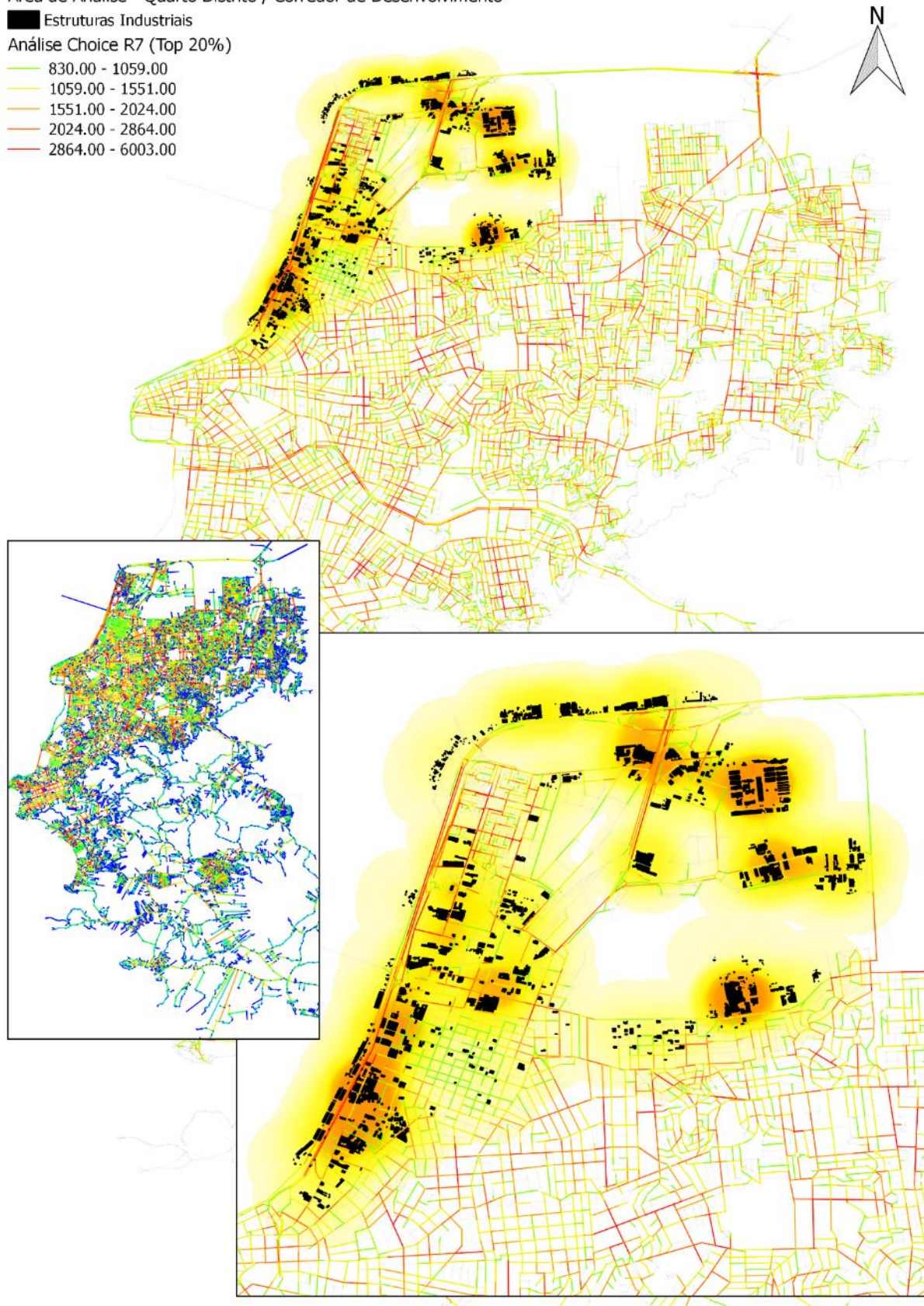


Figura 8. Análise Angular – Choice R7 (top 20% segmentos) e Estimativa de Kernel das áreas industriais de Porto Alegre (raio de 500m)

Área de Análise - Quarto Distrito / Corredor de Desenvolvimento

■ Estruturas Industriais

Análise Choice R7 (Top 5%)

— 1551.00 - 1800.00

— 1800.00 - 2864.00

— 2864.00 - 6003.00

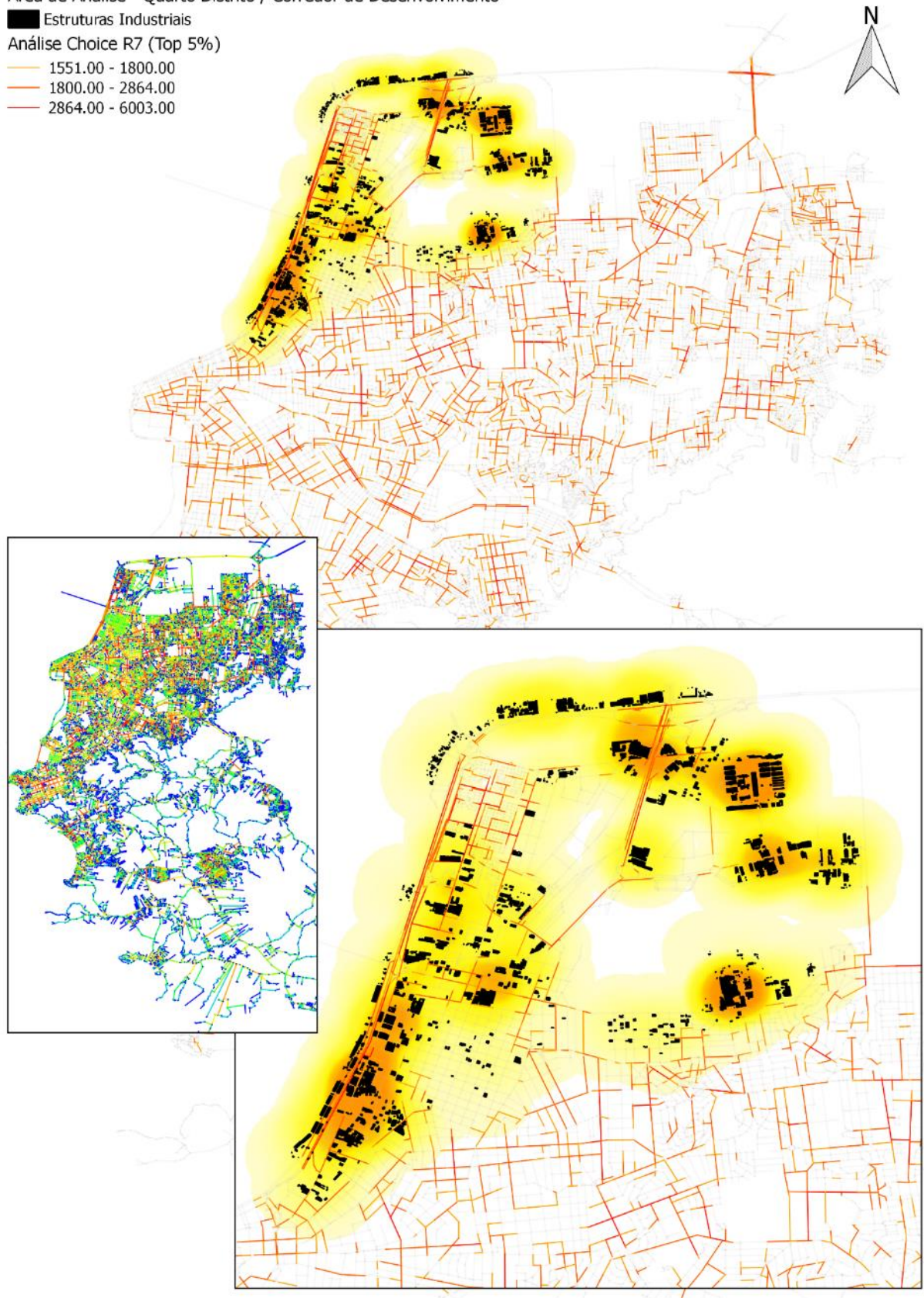


Figura 9. Análise Angular – Choice R7 (top 5% segmentos) e Estimativa de Kernel das áreas industriais de Porto Alegre (raio de 500m)

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através das análises geoestatísticas e de sua aproximação com os métodos da sintaxe espacial demonstraram correlações significativas entre as propriedades morfológicas urbanas e a organização das áreas industriais, corroborando também com a lógica espacial pressuposta em algumas teorias e modelos econômicos de localização. As medidas de integração e de escolha de rotas (*choice*) são capazes de apontar tendências referentes a difusão e organização de áreas industriais, indicando padrões espaciais de dependência locacional, que são seguidos pelo processo de desenvolvimento industrial. Essas medidas também explicam as relações entre as propriedades morfológicas dos ambientes urbanos e os "efeitos de aglomeração", demonstrando que as principais rodovias – que ostentam altas probabilidades de fluxo – podem funcionar como "eixos de concentração", conduzindo o desenvolvimento espacial, a aglomeração e os padrões de distribuição industrial.

O estudo de caso determinou que os padrões de localização e difusão das indústrias de Porto Alegre se relacionam intrinsecamente com as propriedades morfológicas da rede urbana em diferentes escalas. As estruturas ou áreas industriais tendem a se localizar próximas as margens de áreas com elevada centralidade por proximidade (integração) global, entretanto, a integração em escala global tem um menor fator de "efeito de agrupamento" do que o antecipado. No entanto, tais locais industriais se encontram próximos de áreas com alta e média integração a escala local, embora afastados dos núcleos de maior integração do sistema, em regiões que favorecem pequenos deslocamentos entre as firmas, permitindo a criação de rotas de transporte mais eficientes. Em relação às centralidades de intermediação (*choice*), as indústrias tendem a apresentar uma grande dependência com relação as rotas globais de maior fluxo, corroborando os resultados encontrados por Rocassalva & Pluviano (2012). Estas áreas correspondem à estrutura da *supergrid*, e são responsáveis por conduzir os fluxos regionais. Além disso, se observa uma dependência das áreas industriais em relação às rotas locais, de forma a proporcionar a formação de "enclaves espaciais" segregados do tráfego urbano, favorecendo também a eficiência nos deslocamentos curtos entre as firmas e em direção as rotas regionais.

A análise realizada por esta pesquisa, ainda que preliminar, também valida o uso de análises multiescalares e multidimensionais da dinâmica espacial, por meio da metodologia combinada de geoestatística e sintaxe espacial, em estudos voltados para a ciência economia, à medida que as correlações necessárias para atingir a significância foram alcançadas. Neste artigo foi afirmado que as distâncias topológicas medidas por meio de análises angulares se constituem como possíveis "conversões" da distância métrica tradicional empregada pelas teorias econômicas de localização, tornando concebível uma representação refinada da morfologia das redes espaciais para análises econômicas. Portanto, ela se mostra mais confiável – e menos complexa, já que requer menos pontos de referência – do que distâncias métricas para descrever rotas, potenciais de movimento e probabilidades de fluxo, funcionando como alternativas para representar dinâmicas de movimento em modelos econômicos. Portanto, a incorporação de dados socioeconômicos na modelagem de sintaxe espacial apresenta-se como um desenvolvimento interessante que pode levar a inovações nos dois campos do conhecimento, contribuindo para o desenvolvimento de novos métodos de análise, visualização de pressupostos teóricos e verificação estatística das relações dinâmicas entre cidades e fenômenos econômicos. Da mesma forma, a pesquisa também fornece evidências de que, nas estratégias de planejamento urbano voltadas a criação e desenvolvimento de distritos industriais, devem ser consideradas as análises multiescalares da topologia urbana e regional da rede espacial, a fim de maximizar os investimentos em infraestrutura, de modo a fornecer uma base cientificamente sólida para o desenvolvimento econômico de áreas urbanas e metropolitanas.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, P. 1997. *Cities and Regions as Self-Organizing Systems*. Amsterdam. Gordon and Breach Science Publishers.
- ALONSO, W 1964. *Location and Land Use*. Cambridge, Harvard University Press.
- BAILEY, T. GATRELL, A. 1995. *Interactive Spatial Data Analysis*. Edinburgh, Longman Limited.
- BRAGA, A. 2014. *Notas de Aula de Introdução à Sintaxe Espacial*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CHIARARDIA, A; GIL, J; FRIEDERICH, E. 2008. *Mapping the intangible value of urban layout (i-VALUL): Developing a tool kit for the socioeconomic valuation of urban areas, for designers and decision makers*. In: 9th International Conference on Design & Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, 7-10 July 2008 - The Netherlands, pages: 1-16
- CROCCO, M; RUIZ, R. M; CAVALCANTE, A. 2008. *Redes e polarização urbana e financeira: uma exploração inicial para o Brasil*. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar.
- EPANECHNIKOV, V. A 1969. *Nonparametric estimation of a multidimensional probability density*, Theory of Probability & Its Applications n. 14 p. 153–158
- FUJITA, M; THISSEN, J.F. 2002. *Economics of Agglomeration: Cities, Industrial Location and Globalization*. Cambridge, Cambridge University Press.
- FUJITA, M; MORI, T. 1996. *The role of ports in the making of major cities: self-agglomeration and hub-effect*, Journal of Development Economics. Volume 49, Issue 1, April, pp.93-120
- HILLIER, B. 2007. *Space is the machine: A configurational theory of architecture*. London, Electronic Edition published by Space Syntax.
- HILLIER, Bill; TURNER, Alasdair; YANG, Tao; PARK, Hoon-Tae. 2010. *Metric and topogeometric properties of urban street networks: Some convergences, divergences and new results*. In: The Journal of Space Syntax, pages: 258-279
- ISARD, W. 1956. *Location and Space-Economy: General Theory Relating to Industrial Location, Market Areas, Land Use, Trade, and Urban Structure*. New York. The Technology Press of Massachusetts Institute of Technology and John Wiley & Sons, Inc.
- LÖSCH, A. 1938. *The Nature of Economic Regions*. In: Southern Economic Journal, Vol. 5, No. 1, pages 71-78
- MURPHY, K. 2012. *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. Massachusetts. MIT Press.
- MUTH, R. 1969. *Cities and Housing*. Chicago: University of Chicago Press.
- PARETO, V. 1971, *Manuale di economia politica*. New York, A.M. Kelley.
- PERROUX, F. 1955. *Note sur la notion de pole de croissance*. In: Economic Appliquee, p. 307-320.
- PORTER. M. E. 1998. *Clusters and the new economics of competition*. In: Harvard Business Review. November-December. p.77-90
- PORTUGALLI, J. 2006. *Complexity theory as a link between space and place*. In: Environment and Planning A, volume 38, pages 647-664.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2010. *Mapas de estruturas construídas*. Porto Alegre, Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE - PDDUA, 2010. *Plano diretor de desenvolvimento urbano e ambiental (Master Plan)*. Porto Alegre, Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

QGIS, 2016. *QGIS 2.14.9 – Essen*. Source: <http://www.qgis.org/en/site/index.html>

RIGATTI, D.; ZAMPIERI, F. 2011. *Base axial de Porto Alegre*, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ROCCASALVA, G; PLUVIANO, A. 2012 *The clustering effect of industrial sites: turning morphology into guidelines for future developments within the Turin metropolitan area*. In: *Journal of Land Use, Mobility and Environment*, pages 7-20

TURNER, A. 2009. *Stitching together the fabric of space and society: an investigation into the linkage of the local to regional continuum*. In: *Proceedings of the 7th International Space Syntax Symposium*. (pp. p. 116).

TURNER, A. 2007. *From axial to road-centre lines: a new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis* In: *Environment and Planning B: Planning and Design 2007*, volume 34, pages 539 – 555

TURNER, A., 2004. *Depthmap 4 — A Researcher's Handbook*. London Bartlett School of Graduate Studies.

TURNER, A. 2001. *Depthmap: a program to perform visibility graph analysis*. *Proceedings of the 3rd International Symposium on Space Syntax*, pages 7-11

YANG, T. 2015. *A study on spatial structure and functional location choice of the Beijing city in the light of Big Data*. *Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium*.

WAND, M.P; JONES, M.C. 1995. *Kernel Smoothing*. London: Chapman & Hall/CRC.

WEBER. A. 1929. *Theory of the Location of Industries*. Chicago. The University of Chicago Press.