

ANÁLISE DA DENSIDADE DE OCUPAÇÃO DO AGLOMERADO URBANO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO PELA ESTIMATIVA DE DIMENSÃO FRACTAL

Mara Lúcia MARQUES¹
Marcos César FERREIRA²

Resumo

Este estudo teve como propósito avaliar a densidade de ocupação urbana pela análise fractal do aglomerado da região metropolitana de São Paulo, Brasil. Foram empregados mapas temáticos e imagens orbitais do período 1905-2001. Na estimativa da dimensão fractal foi utilizada a relação de densidade de preenchimento (D_d). A análise fractal dos mapas e imagens avaliou a dinâmica temporal do preenchimento dos vazios urbanos e da expansão urbana. Os resultados mostraram que o aglomerado urbano apresentou no período analisado, valores médios D_d (1,755) ou tendência de preenchimento das áreas centrais e diluição das periféricas, caracterizando um padrão radial de crescimento urbano.

Palavras-chave: Dimensão fractal; Aglomerados urbanos; Região Metropolitana de São Paulo; Expansão Urbana; Uso do Solo Urbano; Análise Espacial.

Abstract

Occupation Density Analysis for Urban Agglomeration Growth of São Paulo Metropolitan Through Fractal Dimensions Estimate

The aim of this research is to evaluate and apply fractal dimension analysis methodologies to study the growing of metropolitan areas, using thematic maps and satellite images of time series. Fractal dimension of the Sao Paulo metropolitan area it was calculated using the following fractal dimension method: occupation urban density (D_d). The study was accomplished to thematic maps and orbital images from 1905 to 2001 that supplied information to estimate fractal dimensions from relations of density (D_d). Over period analyzed, urban agglomeration as a whole show means values of $D_d=1,755$ - a trend to fill central areas and dilution of occupation density at peripheral ones, which is related to low spatial organization of urban structures and the radial pattern of space growing.

Key words: Fractal dimension; Urban agglomeration; São Paulo Metropolitan Area; Urban Expansion; Urban land use; Space analysis.

¹ Pós-Graduação em Geografia - IGCE/UNESP-RC dmpf@terra.com.br

² Professor IG/UNICAMP - Campinas macferre@ige.unicamp.br

INTRODUÇÃO

As constantes mudanças na área urbana retratam o ritmo do processo de expansão das cidades e tem na ação humana, o agente importante e integrador dos diferentes aspectos da forma, da estruturação e da evolução do espaço. A ocupação do espaço urbano ao longo do tempo é complexa e pode ser interpretada em termos por quantidades cartográficas a partir de informação sobre distância, número de objetos construídos, população, linhas, áreas e densidade de ocupação. Estas quantidades permitem entender apropriadamente o tamanho, a ordem, a harmonia, a homogeneidade e a diversidade das estruturas e da distribuição das áreas urbanas.

A dimensão fractal é considerada um indicador aplicado a diferentes áreas do conhecimento, não apenas pelo fato da geometria fractal manifestar-se em diferentes estruturas naturais, mas também, por ser ela um parâmetro que revelam a ordem e a regularidade da ocupação urbana, abstraída em primeira instância, por fatores físicos e espaciais, os quais podem ser explicados também com base em teorias tradicionais de expansão urbana, como os modelos socioeconômicos, análise da densidade populacional, modelos de rede de transporte e distribuição espacial do uso do solo. Os valores elevados da dimensão fractal representam uma organização característica de desenvolvimento de aglomerados, que se manifestam pela semelhança entre a dimensão fractal das áreas centrais e das áreas periféricas. A dimensão fractal reflete a ação de fatores inerentes à distribuição das estruturas urbanas no espaço, às condições favoráveis para mobilidade da população, existência de programas habitacionais e de infra-estrutura urbana além de rigoroso controle do processo de ocupação dos espaços vazios.

A aplicação da análise fractal à região metropolitana de São Paulo tem por intenção, compreender o processo de expansão para aglomerado urbano, que passou no século XX por um acentuado crescimento populacional e de ocupação territorial e que tornou-se referência econômica no cenário mundial, seja pela intensificação da industrialização ou pela instalação de empresas de alta tecnologia. Os fatores que influenciaram a forma urbana ao longo do tempo foram relacionados ao valor da dimensão fractal da distribuição espacial das estruturas e da densidade de ocupação de áreas urbanizadas, explorando importantes aspectos da dinâmica geográfica muitas vezes não demonstrados por modelos de análise cartográficas tradicionais.

O objetivo deste estudo foi analisar a evolução do aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo no período 1905-2001 pela dimensão fractal, a partir da relação de densidade de ocupação, associando os métodos de contagem de células e de círculos concêntricos, na análise da morfologia do aglomerado, possibilitando identificar o comportamento fractal multitemporal, a influência de fatores físicos e antrópicos sobre o crescimento do aglomerado e a forma de preenchimento do espaço.

URBANIZAÇÃO E METROPOLIZAÇÃO

O processo de formação das cidades está associado às redes urbanas e condiciona a organização social do espaço, sugerindo uma evolução, onde cada formação social se produz sem ruptura, por desdobramento de elementos da formação social anterior. No processo de urbanização, as formas de implantação espacial são as expressões mais visíveis destas modificações, cuja evolução registra etapas da história do desenvolvimento urbano. É necessário se estudar a produção das formas espa-

ciais estabelecendo critérios de periodização, como também analisar conceitos socioeconômicos para explicar situações individuais de urbanização, ocorrendo assim, a determinação recíproca entre forma espacial e ocupação do espaço (CASTELLS, 1976).

O urbano designa uma forma de ocupação do espaço por uma população, ou seja, a aglomeração resultante de uma forte concentração e de uma densidade de ocupação elevada, com diferenciação funcional e social cada vez maior. O termo urbanização define a concentração espacial da população em determinados limites de dimensão e densidade, os quais caracterizam a forma espacial da ocupação. Portanto, o processo de urbanização indica a passagem de uma forma menos densa e mais espalhada de distribuição da população no espaço, para uma forma mais concentrada (CASTELLS, 1976; SERRA, 1987).

Como área urbanizada pode ser definida toda área construída que está inserida nos limites físicos da cidade, em termos de perímetro e densidade. As atividades e áreas relacionam-se a partir das dimensões da população, das funções, da base econômica e do caráter físico das cidades. O caráter físico depende da aplicação de critérios uniformes na determinação urbana e da inclusão ou exclusão de informações de população, estruturas, uso do solo, fluxos de tráfego e fenômenos sociais, culturais, políticos e econômicos (MAYER, 1976).

Processo de Urbanização, Expansão e Metropolização no Brasil

A rede urbana brasileira possui um processo complexo de criação e evolução dos centros urbanos, processo esse que tem sido marcado por uma desigual espaço-temporalidade, caracterizado pela complexidade da herança econômica e cultural, pelos diversos padrões espaciais, pela crescente complexidade funcional de seus centros e pelos diversos tipos e intensidades de integração interna e externa. A complexidade da herança econômica e cultural refere-se às diversas formas de criação dos núcleos urbanos ou o desenvolvimento de funções urbanas, as quais estão sempre vinculadas a atividade econômica. O padrão espacial e a complexidade funcional são indicadores de um processo de transformação da sociedade e de sua organização espacial (CORRÊA, 2001).

O início do processo de urbanização no Brasil ocorreu pela preocupação, por parte de Portugal, em estabelecer núcleos urbanos como meio de defesa contra os interesses de outros países sobre a colônia. As primeiras vilas e cidades se localizavam ao longo da linha costeira, funcionando como ponto de penetração para o interior e local de escoamento da produção. O posterior crescimento dos núcleos urbanos continuou sendo em direção à orla marítima e também nas margens de rios, devido a maior facilidade de transporte. Nos primeiros séculos da história do país, a função e modificações espaciais da rede urbana ocorreram de acordo com a produção econômica predominante em cada período, como o açúcar, o ouro e o café. A partir do século XVII, surge uma economia urbana mais dinâmica, a qual visa a estocagem, o comércio, a manufaturas e o financiamento de mercadorias e produtos agrícolas, procurando atender a crescente população. A importância de uma cidade e a da região a que pertencia alternava de acordo com a valorização ou substituição do produto de exportação, que variava em função da condição de mercado, assim ocorreu concentração de população em algumas áreas, para atender à demanda de mão-de-obra em áreas com grande exportação. Com a substituição do produto por outro, uma parte da população se deslocava, e assim contribuíram para a ocupação do território através da implantação de pequenos núcleos urbanos (VILLAÇA, 1978; COSTA, 1982).

No início do século XX o aumento da população urbana teve influência do crescente processo de industrialização e conseqüentemente intensificou-se o processo de urbanização. Neste período ocorreu a reorganização no sistema viário-econômico que provocou mudanças estruturais na rede urbana. Também ocorreu melhoria na circulação de mercadorias e o desenvolvimento da estratificação social complexa, criando níveis de demanda diferenciados, juntamente com a modernização do campo e a incorporação de novas áreas, que levaram a complexidade funcional dos centros urbanos. A integração interna e externa foi criada a partir de cidades litorâneas, a ampliação das articulações inter-regionais como a via telegráfica, a ferrovia e a rodovia e o processo de industrialização, os quais geraram uma rede urbana efetivamente integrada (COSTA, 1982; CORRÊA, 2001).

Nas últimas décadas, foi instaurado o processo de descentralização dos setores industriais, mas a população urbana continuou aumentando, pois no início dos anos 60 o país tinha 60 milhões de habitantes, sendo 28 milhões de habitantes urbanos e em 1990, do total de 148 milhões de habitantes, cerca de 115 milhões de habitantes formam a população urbana (GONÇALVES, 1995). Em 2000 a população total do país era de 169.872.856 habitantes e a população residente em área urbana de 137.925.238 habitantes (IBGE, 2000).

Processo de Urbanização da Região Metropolitana de São Paulo

O processo de ocupação da região onde hoje se situa a cidade de São Paulo teve início com a fundação de uma capela por jesuítas em 25 de janeiro de 1554. O povoado que se estabeleceu recebeu o nome de São Paulo de Piratininga, cuja função inicial era a de servir como ponto de partida às expedições vindas do litoral, organizadas para a exploração e catequese do sertão, função esta favorecida pelas vias naturais, como os rios Tietê e Paranapanema. Até 1628, uma estagnação deste povoamento foi observada, quando então ocorreu a elevação à categoria de vila (EMPLASA, 1982).

A partir de 1628, os jesuítas são expulsos e iniciam-se as expedições para o sertão - o movimento das bandeiras - responsável pela abertura de novas rotas de comércio e a captura de índios para mão-de-obra escrava a ser empregada no trabalho agrícola. Inicialmente, este movimento não contribuiu para o crescimento do povoamento, pois dispersava a população para os novos assentamentos no interior do país. A vocação comercial foi consolidada apenas no início do século XVIII, com o ciclo do ouro, favorecida pela localização em relação ao entroncamento de estradas que unia o norte e o sul do país. Em 1711 a vila de São Paulo é elevada a categoria de cidade.

No século XIX, o adensamento da ocupação da cidade de São Paulo ocorre com a intensificação da atividade comercial dos tropeiros associada à transferência da capital do país de Salvador para o Rio de Janeiro, a chegada da família real e a independência do país, que contribuíram de forma marcante para o crescimento da região sudeste. No final do século XIX, ocorre a alteração do perfil econômico do país com a cultura cafeeira, que se concentrou no Estado de São Paulo devido suas condições climáticas favoráveis, superando a cultura canavieira do nordeste. Neste cenário, cria-se o Estado de São Paulo e sua capital, a cidade de São Paulo, assume o papel de entreposto receptor e distribuidor do café, pois unia as regiões produtoras ao porto de Santos com a facilidade de vias de acesso e a implantação do transporte ferroviário. Ocorre, nesta época, a vinda de imigrantes europeus para substituir a mão-de-obra escrava, desenvolvendo o comércio de abastecimento para suprir as necessidades desta população assalariada. Isto estimulou a fixação de residências e

o crescimento da população de 31 mil habitantes em 1872 para 240 mil em 1900 (VILLAÇA, 1978).

Com desenvolvimento econômico do café, surgem as manufaturas para o seu beneficiamento e consumo no mercado interno. Este mercado era constituído por empregados do comércio, do transporte e dos bancos vinculados aos grandes produtores e comerciantes do café. Na última década do século XIX, a demanda do mercado interno favoreceu o estabelecimento de indústrias têxtil, alimentícia e química, desenvolvendo o processo de industrialização do país e conseqüentemente o processo de urbanização. Em 1900, com a criação da primeira usina termoelétrica, São Paulo vai se destacando no processo de industrialização. Outros fatores como a posição geográfica privilegiada, área de entroncamento rodo-ferroviário (melhores condições de transporte), centro receptor de imigrantes (melhor mão-de-obra e melhores técnicos) e centro econômico-financeiro dos negócios do café (maior concentração de capital) contribuíram para a grande arrancada industrial consagrada em 1939, quando passa a reter 45% da produção industrial (EMPLASA, 1982; SILVA NETO, 1990).

Neste cenário, a urbanização de cidade de São Paulo organiza-se com o surgimento de saneamento básico, desenvolvimento dos meios de comunicação e de transportes, criação de parques industriais e bairros proletários e a especulação imobiliária com o loteamento de grandes propriedades, o que caracteriza o início do processo de metropolização.

Na década de 30, a depressão da economia mundial promoveu uma grande retração dos negócios com o exterior, que foi superada com a substituição produtos importados pela produção interna. Este processo encontrou em São Paulo condições propícias para o seu desenvolvimento, como a existência de uma base industrial, a presença de um mercado interno em constante expansão e facilidade no suprimento de alimentos e matéria-prima. Estas condições favoreceram um impulso decisivo à nova fase da industrialização nacional com a expansão dos setores têxtil, mecânico e alimentício, a demanda por materiais de construção e a criação de indústrias siderúrgicas e petroquímicas (SILVA NETO, 1990).

Este contínuo crescimento econômico foi acompanhado por aumento idêntico da população de São Paulo, que passa de 240 mil habitantes em 1900 para 579 mil em 1920 e de 1 milhão em 1934 para 1,3 milhão em 1940. A urbanização acompanhou este processo desaparecendo as áreas rurais tomadas por uma contínua faixa de indústrias e habitações. Desde do início do processo de metropolização a distribuição da ocupação apresentou um modelo de zoneamento espontâneo com as atividades industriais localizadas ao longo das ferrovias e as comerciais abrigadas no centro histórico da cidade. As áreas residenciais variavam de acordo com a renda sendo a camada mais rica da população espalhada pelas colinas após vale do Anhangabaú e pela região da avenida Paulista, a classe média ocupava as adjacências do centro antigo e as residências operárias localizavam-se ao longo das vias ferroviárias (EMPLASA, 1982).

A metrópole de São Paulo apresentou a partir de 1940 como principais conseqüências do crescimento econômico, a compactação da área urbanizada devido a edificação acelerada; início de uma forte ocupação vertical; incorporação de núcleos suburbanos a área central da cidade; fortalecimento, expansão horizontal e surgimentos de novos subúrbios; surgimentos de auto-estradas com adensamento industrial e residencial em sua área de influência e diminuição das matas naturais.

A grande São Paulo que possuía, em 1940, 1,3 milhão de habitantes passou a ter 2,6 milhões em 1950, 4,7 milhões em 1960, 8,1 milhões em 1970 e 12,5 milhões em 1980 e passou para 15,1 milhões em 1990; 16,7 milhões em 1996; 17,8 milhões

em 2000; 18,1 milhões em 2001 e 18,6 milhões em 2003. Segundo dados divulgados pela EMLASA (2004) população em 2004 é de 18.759.575 habitantes.

O início do processo de metropolização da grande São Paulo ocorreu após a revolução industrial por volta de 1900, com início da industrialização, intensificação do comércio do café, intensificação da imigração européia e a concentração do poder econômico. Por volta de 1930, os primeiros municípios a serem vinculados economicamente à cidade de São Paulo foram: São Caetano, Santo André e São Bernardo do Campo. Na década de 50, as cidades de Guarulhos, Diadema, Mauá e Osasco passa à integrar a região metropolitana de São Paulo. A aglomeração de núcleos urbanos vinculados economicamente à metrópole de São Paulo foi consolidada nas décadas de 1970 e 1980 (GONÇALVES, 1994).

A metrópole paulista resultou de formação urbana desencadeada pelo movimento único e contínuo de ocupação econômica do território, determinado pelo desenvolvimento do complexo cafeeiro, o qual estruturou a sua base econômica, iniciada pela indústria que, ao se desenvolver, passou a ser a principal atividade na região. No começo dos anos setenta, configura-se a metrópole como grande aglomerado urbano em progressiva conurbação. Para consolidação do processo de metropolização, a base econômica foi associada ao potencial de força de trabalho, ao investimento em infra-estrutura (destacando vias de transportes), agricultura de alimentos e de matérias-primas e prestação de serviços (GONÇALVES, 1994).

Após a década de 1970, a rede urbana passou a se configurar a partir de uma gênese complexa, diversos padrões espaciais e crescente complexidade funcional. Neste contexto a metrópole paulista emergiu como o maior centro da rede urbana e a intensidade das interações espaciais evidenciam o conjunto urbano industrial que, tendo como foco a metrópole paulista, irradia-se para a Baixada Santista, o Vale do Paraíba, as cidades de Sorocaba, Piracicaba, Campinas e pelas demais cidades localizadas ao longo das rodovias Anhanguera e Washington Luiz. As interações espaciais entre estas cidades são intensas, revelando relações de subordinação e complementaridade (CORRÊA, 2001).

As observações das transformações do espaço metropolitano brasileiro apresentam uma desigual espaço-temporalidade dos processo sociais e as transformações ressaltadas foram: a descentralização e seu impacto no núcleo central, a ratificação de setores residenciais seletivos, a explosão da periferia popular e surgimento de novos territórios. A descentralização gerou formas espaciais espontâneas como os subcentros comerciais hierarquizados, os eixos e áreas especializadas e áreas industriais. Gerou também, formas planejadas como os shopping centers e os distritos industriais. No processo de ratificação do padrão setorial da população de alta renda, ficam caracterizadas, na organização espacial, as formas que pressupõem intenso investimento de capital e mudança na concepção sócio-espacial, como os condomínios exclusivos, os shopping centers e as auto-estradas, expressando o padrão setorial seletivo da cidade. A expansão da periferia metropolitana ocorreu segundo três formas de organização espacial: os loteamentos populares e a autoconstrução, os conjuntos habitacionais e as favelas (CORRÊA, 2001).

A expansão da periferia também ocorreu pela formação dos loteamentos clandestinos ou irregulares, os quais a partir de 1979 foram proibidos, acarretando o agravamento das condições de moradia e aumentando o número de pessoas morando em favelas e cortiços. Mais de 70% das moradias construídas na metrópole paulista foram produto de autoconstrução, atingindo aproximadamente 90% das construções dos municípios de Embú, Franco da Rocha, Jandira, Itapevi e Francisco Morato (SANTOS, 1990).

Estas formas de ocupação são caracterizadas pelos precários meios de transportes, infra-estrutura básica deficiente, constantes epidemias, violência e outros. Os

novos territórios são formados por grupos que desenvolvem práticas que definem o território, entendido como segmentos do espaço apropriados e/ou controlados por grupos com o objetivo de garantir as práticas que os identificam ou permitem realizar suas atividades (como exemplo, as áreas dominadas pelo tráfico de drogas) (CORRÊA, 2001).

Para Santos (1990), existe uma relação entre o valor médio da terra, as diferenças de acessibilidade e a segregação espacial. Esta relação se expressa no deslocamento da população menos favorecida economicamente para áreas periféricas, os preços da terra aumentam nas áreas mais próximas ao centro, assim a tendência à expansão espacial da aglomeração se mantém, criando espaços vazios no espaço urbano. Segundo o autor, no início do séc. XX a área urbana não apresentava uma segregação espacial definida, mas já estava ocorrendo o início de um processo de segregação, a partir do deslocamento de setores da classe dominante para bairros exclusivos, levando a valorização destas áreas.

Desta forma, o espaço urbano pode ser abordado como um espaço fragmentado, caracterizado por diferentes paisagens e usos da terra, apresentando um núcleo central, área periférica do centro, áreas industriais, subcentros terciários, áreas residenciais distintas (em termos de forma e ocupação) e áreas de especulação esperando futura expansão. A fragmentação espacial é decorrente de diversas ações dos agentes modeladores que produzem e consomem o espaço urbano, gerando mudanças de ocupação e/ou das formas das áreas, surgindo novos padrões de fragmentação do espaço urbano. O espaço urbano é simultaneamente fragmentado e articulado, sendo a expressão espacial de processos sociais e reflexo das ações realizadas no presente, como as realizadas no passado, que são identificadas nas formas espaciais presentes. Através da fragmentação do espaço urbano identifica-se diferenças das condições de existência e reprodução social (SANTOS, 1990; CORRÊA, 2001).

A intensificação do processo de industrialização da região metropolitana de São Paulo foi beneficiada pelos programas governamentais de incentivo, os quais permitiram ao ingresso maciço do capital internacional na economia brasileira. O ingresso destas grandes empresas resultaram em alteração da estrutura produtiva e econômica da industrialização dos municípios vizinhos a São Paulo e na estruturação econômica e urbana da região metropolitana (PRATES, 2001).

O fenômeno de saturação urbana da região metropolitana, iniciou com a concentração em São Paulo na passagem da década de sessenta para setenta, ocorrendo a saída de algumas indústrias que sofreram conseqüências do processo de saturação, como: congestionamento das vias urbanas de transporte, precariedade das redes de energia e de telecomunicações, pequena oferta de áreas para assentamento e leis de zoneamento industrial e de mananciais (PRATES, 2001).

Na década de oitenta, a economia da metrópole passou pela estagnação da produção industrial e crescimento do setor terciário, o qual pode ser caracterizado pela heterogeneidade, apresentando simultaneamente atividades de baixa produtividade e atividades modernas de alta produtividade (NEGRI; PACHECO, 1994). Esta estagnação econômica, que teve como conseqüências negativas o aumento do desemprego e aumento da pobreza. Com exceção do período de recuperação do crescimento econômico e recuperação do nível de emprego durante o Plano Cruzado, em 1986, a crise econômica, o acúmulo de fatores de deseconomias de aglomeração e o aumento da violência urbana, contribuíram para a diminuição da atratividade de São Paulo. Neste período, a produção de serviços foi sofisticada e diversificada e isso favorece a consolidação da posição de São Paulo como metrópole internacional. O processo de acumulação de renda deste período, refletiu em diferença social na capacidade de consumir, apresentando expansão dos serviços e do comércio especializado em segmentos de alta renda, transformando a estrutura de comercialização e de

prestação de serviços da área metropolitana (NEGRI; PACHECO, 1994; SOUZA, 1999).

No início da década de noventa, ocorreram alterações econômicas como a abertura comercial a desregulamentação do mercado, a estabilização monetária, a privatização de empresas estatais e o fortalecimento do processo de globalização, resultando em nova estrutura para retomada do investimento privado nacional e internacional. Estes investimentos foram instalados tanto em áreas tradicionalmente industrializadas como em novas áreas. As áreas fora dos limites da região metropolitana decorreram da formação de deseconomias de aglomeração e do interesse do capital industrial de procurar vantagens econômicas na ocupação de novas áreas. A procura pelo espaço na região metropolitana, ocorre pelos setores produtivos relacionados à alta tecnologia. As empresas de alta tecnologia encontram-se concentradas na região devido a facilidade de relações de troca de informações e de conhecimento, que a base das possibilidades inovadoras e de acumulação, na economia atual (PRATES, 2001; TINOCO, 2001).

Neste período a modernização tecnológica caracterizada pela atuação setorial e geograficamente seletivas de tecnologias industrial configuram a reestruturação da economia do país. No entanto, sendo esta modernização caracterizada por métodos de gestão racionais (que estimulam a diminuição do quadro de empregados) e pelas relações de produção flexíveis (terceirização, subcontratação e outros), fez surtir impactos negativos, destacando-se, o desemprego (principalmente no setor industrial); a precarização das condições de trabalho e aumento da informalidade. Na região metropolitana, estes processos causaram aumento da favelização e da periferização, representações espaciais da reprodução da pobreza urbana e segregação. Atualmente, a complexidade destes espaços urbanos está representada na dotação de infraestrutura diferenciada pela localização, antigüidade e grau de consolidação do assentamento. As favelas mais recentes, pequenas e periféricas apresentam casas pequenas de materiais improvisados e sem infra-estrutura (barracos), enquanto que favelas mais antigas apresentam casas com melhor padrão de construção (casas de alvenaria) (SOUZA, 1999).

A região metropolitana paulista sofre uma significativa diminuição do ritmo de crescimento, decorrente da diminuição da sua importância industrial e desenvolvimento de novas funções, principalmente nos setores terciários e de tecnologias. A dispersão espacial da indústria para o interior paulista demonstrou a realocação industrial expressando a expansão do aglomerado metropolitano, que define a metrópole como centro de gestão econômica. A implantação industrial nos municípios próximos aos principais eixos rodoviários, demonstram uma descentralização, mas também, observa-se que os serviços essenciais de decisão controle do processo econômico continuam concentrados social e espacialmente na região metropolitana (GONÇALVES, 1994; LENCIONI, 1994).

ANÁLISE ESPACIAL URBANA PELA DIMENSÃO FRACTAL

Uma das características da dimensão fractal é a de apresentar uma forma constituída por pares similares, ou a auto-similaridade, que implica em um padrão dentro do padrão, mantido segundo as variações escalares. A auto-similaridade fornece ao geógrafo uma nova maneira de medir, analisar e compreender a complexidade do espaço (DE COLA; LAM, 1993). A invariância em escala, ou auto-similaridade, se caracteriza e se determina por meio de medidas denominadas "dimensões fractais". A dimensão mais utilizada e mais freqüentemente relatada na bibliografia é a Dimen-

são de Hausdorff-Besicovitch. Os objetos fractais encontram-se associados a um número conhecido como dimensão fractal, que demonstra o seu grau de complexidade (rugosidade, irregularidade, fragmentação) (GOODCHILD; MARK, 1987; KLINKENBERG et. al., 1992).

O parâmetro mais importante para a teoria dos fractais é a de dimensão. Para entender as propriedades do fractal, é necessário retomar a definição baseada na geometria euclidiana, onde um ponto isolado ou o conjunto de número restrito de pontos, constitui em uma figura de dimensão 0 (zero); uma linha constitui uma figura com dimensão 1 (um); uma área constitui uma figura com dimensão 2 (dois), e um volume constitui uma figura com dimensão 3 (três). Na geometria fractal a dimensão possui valores fracionados, permitindo que a determinação da dimensão de objetos com irregularidade de formas tenha maior exatidão (FRANKHAUSER, 1994).

Algumas propriedades da geometria fractal são concordantes com a estrutura de aglomerações urbanas, mas mesmo assim, a utilização da análise da dimensão fractal exige avaliar se os conceitos aplicados são condizentes com cada realidade a ser representada. Pode-se constatar que cada construção ocupa uma certa superfície no solo e cada uma faz parte de um todo, sendo que a disposição da ocupação depende do critério dos cidadãos em estabelecerem-se em determinada área. A partir da disposição das áreas construídas, ocorre o desenvolvimento das redes de circulação. Assim, pode ser considerado que a interação entre a ação dos habitantes ao exercer certas atividades econômicas e a função de comunicação da rede de transportes determinam a geometria de uma malha urbana.

Na análise de áreas urbanas, uma das primeiras aplicações possíveis é o estudo do uso e ocupação do solo, principalmente a ocupação do solo por área construída. Esta análise pode abordar características bem diferentes, dependendo do nível de observação utilizado. A representação cartográfica ao nível regional apresenta certas informações relacionadas à repartição espacial das aglomerações e sobre a forma de suas extensões. O outro nível, o local, apresenta informações sobre as características das habitações, das vias de circulação e das quadras. Considera-se o fractal, uma forma de comparar os diferentes níveis de observação analisando os elementos de uma estrutura com variações que exprimem desde noções de homogeneidade interna como a de repartição espacial das construções nas cidades (BATTY et. al., 1989; FRANKHAUSER, 1994).

Destacam-se dois aspectos na observação dos aglomerados urbanos: a) existe um centro que em primeira abordagem é compacto, apresentando uma acumulação densa de área construída com o mínimo de área para a circulação; b) as outras áreas em torno do centro, ocupam o espaço em uma distribuição hierárquica, dependendo da taxa de ocupação do solo (sendo pequena ou larga a lacuna de espaços vazios). Os espaços vazios de uma distribuição possuem número infinito de pequenas lacunas, que são aparentes dependendo da resolução da imagem. Assim, em uma escala regional, a cidade se apresenta com maior ou menor taxa de espaços vazios. A observação em escala mais detalhada, em forma de quadras e ruas, a ocorrência de espaços vazios é vista de outra maneira, como a largura das ruas, o tamanho das praças (FRANKHAUSER, 1994; TORRENS, 2000).

Na escala regional, e/ou na escala das áreas metropolitanas, o aspecto fractal é estreitamente ligado à morfologia da área construída, manifestando a forma das bordas das aglomerações. A dimensão fractal é importante para interpretação dos processos de crescimento urbano, assim, o detalhamento das quadras proporciona uma organização hierárquica dos diferentes usos do solo. Outra aplicação da dimensão fractal insere-se no conjuntos das pesquisas relacionadas à via de transportes em escala regional.

No estudo do desenvolvimento urbano de uma metrópole pode-se realizar uma seqüência temporal de análise por dimensão fractal, e tentar estabelecer-se uma relação entre a linha do tempo e o crescimento desta aglomeração, considerando para cada período, os respectivos planos de urbanização. Na observação das características fractais para cada período, demonstra-se que a extensão espacial é efetivamente um processo de crescimento que preserva os aspectos fragmentados da aglomeração durante longos períodos, o que pode ser chamado de dimensões históricas do crescimento urbano, levando a estabelecer uma ligação entre evolução espacial das cidades e a fragmentação das aglomerações. A extensão das cidades ao longo de novas vias de circulação e a interação entre o desenvolvimento dos meios de transporte com a evolução econômica e populacional, provocam um efeito de auto-organização que determinam as novas vias de circulação (BATTY; LONGLEY, 1994; FRANKHAUSER, 1994).

A análise do crescimento urbano mostra que esta evolução é dada pelo crescimento axial ou de estrutura policêntrica. Estes efeitos aparecem independente de projetos de urbanização responsáveis por minimizar estes efeitos da auto-organização. No crescimento radial, a extensão urbana acompanha as principais vias de transporte, férrea ou rodoviária. Esta rede demonstra um aspecto radial do fractal, que se manifesta pela diluição radial da área construída a partir de um cruzamento central urbano. A forma do aglomerado urbano ou área construída é estabelecida em planos circulares, embora em alguns casos, pode ocorrer o plano setorial. Este conceito representa o desenvolvimento axial das aglomerações, entretanto em certos períodos ocorre a desagregação das aglomerações e o declínio das vias centrais de circulação, sugerindo que a estrutura urbana não possui regularidade. Quando as vias centrais são remanejadas com sucesso, significa uma persistência da morfologia axial. No crescimento policêntrico, os centros representam as funções de áreas centrais de uso interno e observa-se uma hierarquia no interior da área metropolitana, apresentando uma certa autonomia da evolução espacial dos centros, reforçando a característica fragmentada da urbanização. (FRANKHAUSER, 1994).

Os estudos da evolução da morfologia dos aglomerados urbanos após a Revolução Industrial, comparados aos respectivos planos urbanísticos, permitiram constatar que estes não influenciam diretamente o nível de desenvolvimento das áreas metropolitanas, sugerindo que existam processos de auto-organização que são responsáveis pelo crescimento axial ou policêntrico, como além também, dos processos socioeconômicos, também relacionados ao surgimento de estruturas fragmentárias (BATTY et al., 1989; FRANKHAUSER, 1994).

O crescimento urbano ao longo de linhas da rede viária próximas à áreas comerciais e industriais, caracterizam as aglomerações com perfil de centro econômico e administrativo. Nestes centros, a rede viária é centrípeta e configura-se como uma estrutura radial e ramificada, o que desencadeia o crescimento radial ao longo das vias de transportes mais importantes, atribuindo uma morfologia radial às aglomerações, em formato de estrelas. A introdução do automóvel permitiu maior liberdade de circulação, possibilitando a urbanização de áreas mais afastadas, como as rurais. Conseqüentemente, o espaço urbanizado assumiu uma forma homogênea e compacta, provocando a interação entre a malha da rede de circulação e a repartição das habitações. Como a dimensão do fluxo de transporte depende do número de habitações e das funções administrativa e econômica de uma cidade, esta organização hierárquica influenciou a distribuição de fluxo nas redes formadas pelas cidades que compõem as áreas metropolitanas. Assim, o crescimento policêntrico, que está ligado a uma hierarquia de seus centros, influencia a morfologia das redes de transportes, fator importante para o crescimento axial e para o desenvolvimento espacial futuro da área urbana, demonstrando interação entre crescimento policêntrico e o crescimento axial (BATTY; LONGLEY, 1994; FRANKHAUSER, 1994).

O aspecto fractal de uma aglomeração, acompanha a evolução urbana, e a evolução da dimensão fractal caracteriza a da organização espacial da área urbanizada. Assim, quando a dimensão fractal é constante durante o período de tempo analisado, significa que a cidade cresce seguindo uma lei alométrica, ou seja, o crescimento é contínuo no espaço. Se a dimensão fractal aumenta, indica uma evolução urbana com repartição mais homogênea da superfície construída. Quando a dimensão fractal diminui, indica que a repartição da área construída é heterogênea, ocorrendo um crescimento espalhado das áreas construídas de maneira desigual no espaço (BATTY; LONGLEY, 1994).

A dimensão fractal é um parâmetro que descreve um princípio de ordem interna das estruturas e pode descrever a organização espacial destas aglomerações, pois a repartição da superfície construída obedece a lei fractal, tanto em escala regional como na escala dos aglomerados. Desta forma, é possível mensurar e caracterizar a repartição hierárquica da superfície construída, distinguindo-se várias categorias de desenvolvimento das aglomerações.

Uma vez que o tecido urbano sugere uma lei fractal devido seus aspectos irregulares, o princípio de ordem interna facilita a análise dos processos socioeconômicos suscetíveis de serem responsáveis pela decomposição das aglomerações. Para checar as características da evolução urbana que mostram um crescimento fractal das cidades, devem ser considerados três fatores: a importância das vias de circulação ou acesso, o crescimento policêntrico e a tendência de preservação de áreas centrais (FRANKHAUSER, 1994).

O estudo das principais características de novos tipos de objetos geométricos mostra que a fragmentação está estreitamente ligada à existência de uma organização espacial hierárquica. Assim, uma distribuição fractal dos elementos ou objetos de uma superfície nunca é homogênea, mas mostra uma série hierárquica de agregações que pode ser descrita por uma mensuração particular, a dimensão fractal.

A dimensão fractal pode servir para quantificar estruturas complexas como malhas urbanas e descobrir aspectos particulares não aparentes o que autoriza o uso dos fractais na análise da estrutura e da morfologia de regiões metropolitanas.

Estimativa da dimensão fractal de áreas urbanas

O crescimento urbano ocorre de forma dinâmica no tempo. A simulação da expansão urbana a partir de raios concêntricos e da contagem de células são procedimentos que permitem caracterizar esta dinâmica temporal e analisar a morfologia urbana a partir de sua evolução espacial.

De acordo com estudos desenvolvidos por Goodchild (1980), Batty e Longley (1986) (1988) (1994), Longley e Batty (1989), Batty et al. (1993), De Cola e Lam (1993), Frankhauser (1994) e Longley e Mesev (2001), pode-se estudar a evolução espacial urbana a partir de modelos da geometria fractal, constituindo-se em um método de avaliação morfológica e geométrica da organização espacial dos aglomerados urbanos.

Em geometria fractal, a determinação da dimensão de um objeto pode ser obtida pelo método de mensuração da dimensão fractal de um objeto que baseia-se na simulação do crescimento ou do declínio do tamanho do objeto ao variar-se a resolução espacial. A massa do objeto é medida a partir do número de partes contidos na resolução r (Nr), considerando R o tamanho do objeto, a equação pode ser escrita:

$$N(r) = K \left(\frac{R}{r} \right)^D \quad (3.1)$$

Tendo-se uma escala fixa r e a massa ou número de partes do objetos escalonados por R , obtém-se:

$$N(r) = ZR^D \quad (3.2)$$

onde Z é uma constante de proporcionalidade dependente da resolução.

Tomando-se como referência a área do objeto $A(R)$, normaliza-se então a equação, que calcula a densidade de área construída:

$$\rho(R) = \frac{N(R)}{A(r)} = Z = \frac{R^D}{\pi R^2} \sim R^{D-2} \quad (3.3)$$

Pode-se determinar assim a dimensão fractal, resolvendo-se equação 3.3:

$$D(R) \sim 2 + \frac{\log \rho(R)}{\log R} \quad (3.4)$$

onde $\rho(R)$ é a densidade de área construída no aglomerado urbano.

Na análise do crescimento e da evolução de sistemas naturais, a alometria é considerada uma medida de valor relativo do objeto, pois com base em grandezas conhecidas, de tamanho e resolução, pode-se obter o tamanho real do objeto.

A relação alométrica associa o tamanho do objeto, tendo como referência uma unidade de comprimento conhecida. Ou seja, para se mensurar o tamanho de um sistema E , com base na geometria Euclidiana, pode-se definir pontos quando $E=0$; linhas quando $E=1$; planos quando $E=2$; e volumes quando $E=3$. Se for empregado como padrão de comparação uma medida de comprimento em uma dimensão com tamanho de r conhecido, têm-se objetos cujo escalonamento variam igual ao ponto se R^0 , igual à linha se R^1 , igual ao plano se R^2 e assim por diante. Em geral, a relação de escalonamento é R^E . Se o tamanho do objeto em questão é estimado com escalonamento igual a R^E , se refere a um escalonamento isométrico. Se o objeto for escalonado igual R^D com $D < E$, tem-se alometria negativa, e se $D > E$ alometria positiva.

A forma básica da densidade de ocupação pode ser considerada como o escalonamento entre ocupação $N(R)$ e a área $A(R)$, onde R é alguma medida da dimensão linear do espaço, assim:

$$N(R) \sim A(R)^f \quad (3.5)$$

onde f é a densidade de ocupação em relação a distância do centro urbano.

Se, $f > 1$ a ocupação preenche melhor as duas dimensões do espaço,
 $f < 1$ a ocupação preenche menos o espaço avaliado.

Os estudos da relação alométrica sobre diferentes tamanhos de cidades são baseados, geralmente, no pressuposto de que a cidade cresce até a terceira dimensão. A equação acima demonstra uma alometria positiva. No caso intra-urbano, a densidade de ocupação declina com o crescimento da distância em relação ao centro, ocorrendo um alometria negativa. Primeiramente é obtida a medida de área com o padrão de comparação de comprimento R , permitindo uma associação desta análise às funções de densidade de ocupação. A equação 3.5 pode ser então rescrita da seguinte maneira:

$$N(R) = \gamma A^\phi = \gamma (\pi R^2)^\phi = \phi R^D \quad (3.6)$$

na qual assume-se que a distância associada à área é dada como $R = \sqrt{A}$, e ϕ e j são constantes de proporcionalidade. Nesta equação, fica claro que $D = 2\phi$ e $\phi < 1$ quando $D < 2$. Para Takayasu (1989) apud Batty e Longley (1994), D pode ser considerado como dimensão efetiva, mas para Batty e Longley (1994) D é denominado de dimensão fractal.

Para encontrar o valor de D para um cidade, pode-se relacionar a equação de densidade de ocupação em termos da relação de escalonamento, baseando-se no padrão de comparação de comprimento R e explicitamente contando com o parâmetro D . A equação então passa a ser escrita na forma abaixo:

$$\rho(R) = \frac{N(R)}{A(R)} \sim A(R)^{\phi-1} \quad (3.7)$$

Nesta equação, verifica-se que a ocupação é isométrica com área e $\phi = 1$, quando $\rho(R)$ é constante. A densidade de ocupação declina com o alongamento da distância do centro quando o expoente da equação é menor que 0 (zero), ou $\phi - 1 < 0$. Com o passar do tempo é pouco possível, mas pode ocorrer, que ϕ tenha valores superiores a 1, implicando assim no aumento da densidade de ocupação com o aumento da distância do centro. Explicitando o termo do padrão de comparação R , tem-se:

$$\rho(R) = \frac{\phi R^D}{\pi R^2} = \epsilon R^{D-2} \quad (3.8)$$

na qual, a densidade declina com a distância, sendo a dimensão fractal D menor que 2, indicando que neste caso na cidade, não serão preenchidos o espaço bidimensional avaliado.

Os dados de ocupação podem ser analisados sob uma malha fina, onde cada unidade de ocupação é localizada como um ponto nesta malha formada por células de mesmo tamanho. Neste caso, uma boa aproximação da densidade da equação 3.8 é $\rho(R) \sim R^{D-2}$, dá-se quando a constante de proporcionalidade não é maior que a resolução espacial. Então, para qualquer distância R a partir do centro, D pode ser calculado através da seguinte transformação:

$$\rho(R) = \frac{A(R)}{\hat{A}(R)} \sim \frac{\pi R^D}{\pi R^2} = R^{D-2} \quad (3.9)$$

A partir da equação 3.9, pode-se aproximar a dimensão fractal para qualquer densidade $\rho(R)$, sendo R a distância a partir do centro urbano, da forma a seguir:

$$D(R) = 2 + \frac{\log \rho(R)}{\log R} \quad (3.10)$$

MATERIAIS E MÉTODO

Base cartográfica

O material cartográfico referente à distribuição espacial das áreas construídas na região metropolitana de São Paulo (RMSP), foi selecionado de acordo com as bases históricas das mudanças políticas, sociais e econômicas já identificadas nos itens anteriores e circunscrito ao período 1905-2001. Foram escolhidos mapas das datas de 1905, 1914, 1930, 1940, 1952, 1962 e 1972, e como dado mais recente, selecionadas imagens TM e ETM⁺ (LANDSAT) obtidas em 1996 e 2001. A tabela 1 apresenta o material cartográfico utilizado na pesquisa e respectivos autores e datas às quais se referem as informações neles contidos.

Tabela 1 - Base de informações espaciais empregadas no estudo

Material	Descrição	Data
Mapa analógico	Escala 1:250.000 (VILLAÇA, 1978)	1905, 1914, 1930, 1940, 1952, 1962 e 1972
Carta Topográfica Região Metropolitana da Grande São Paulo	Escala 1:100.000, EMPLASA	1982
Imagem TM- LANDSAT	Orbita 219_076	03/09/1996
Imagem ETM ⁺ - LANDSAT	Orbita 219_076	03/05/2001

Processamento digital de imagem

Para a interpretação e análise das imagens digitais TM e ETM⁺ (LANDSAT) foi necessário compreender o comportamento espectral dos objetos que compõe o aglomerado urbano. O tratamento digital das imagens que recobrem o aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo foi realizado a partir das ferramentas de processamento digital do sistema IDRISI 32, inicialmente foram realizados:

- (a) o realce de borda, realizando a filtragem passa-alta para enfatizar as altas frequências espaciais e melhorar o contraste entre os objetos com características de ocupação urbana;
- (b) o realce linear, realizado a partir da análise do histograma das imagens e promovendo a expansão da distribuição da frequência na amplitude da variação dos níveis de cinza das imagens;
- (c) o realce de cor, que possibilitou composições em cores de conjuntos de três bandas, foram realizados alguns testes com diferentes composições colorida a partir da combinação de três bandas espectrais formando uma ima-

gem. Após os testes, a imagem resultante da composição colorida associada ao espaço RGB (Red/Green/Blue) (as bandas 4 (R), banda 3 (G) e banda 2 (V)), sendo escolhida aquela que melhor identificou a separação entre os alvos urbanos e não-urbanos.

Foram utilizados para destacar a forma do aglomerado urbano os recursos de interpretação visual, como: textura, padrão, forma, cor e localização. Assim, as imagens com composição colorida 4/3/2 foram exportadas para o AUTOCAD R14, onde foram utilizadas como base para a digitalização em tela.

Elaboração da base de dados espaciais

a) Digitalização. dos mapas

Na elaboração da base de dados espaciais, inicialmente o material cartográfico composto de mapas no formato analógico foi convertido para o formato digital através de digitalização via scanner. As imagens rasterizadas resultantes foram utilizadas com base para a digitalização em tela, com o intuito de se gerar arquivos vetoriais. As informações do limite de áreas construídas e principais vias de acesso foram digitalizadas segundo rotina básica do software AUTOCAD R14, realizando digitalizações de forma convencional (modo ponto), tipo arco-nó-arco. O mesmo procedimento foi adotado para a conversão das imagens orbitais para o formato vetorial. Todos os planos de informação obtidos no AUTOCAD R14 foram exportados para o programa IDRISI32, onde foram estruturados no formato raster com resolução espacial de 30m. Assim, foi construída a base de dados formada por imagens digitais que identificam a forma das manchas ou aglomerados urbanos nas diferentes datas a partir do delineamento de adensamentos, de acordo com o método proposto por Batty et. al. (1993), no qual realiza-se a contagem de células em raios concêntricos através do posicionamento de uma grade sistemática sobre o aglomerado urbano e assim, fixando círculos com raios conhecidos a partir do centro do aglomerado (CBD).

b) Georreferenciamento

Na etapa de georreferenciamento, as imagens geradas tiveram suas coordenadas cartesianas convertidas para o sistema de coordenadas UTM (Projeção Universal Transversa de Mercator), cujos valores foram coletados na Carta Topográfica da Região Metropolitana da Grande São de Paulo, na escala 1:100.000 da EMPLASA, ano 1982. Este procedimento teve por finalidade a unificação da base cartográfica digital, gerando uma base de dados com mesma escala 1:100.000 e mesma resolução espacial. No georreferenciamento, foram criados arquivos vetoriais e rasterizados para cada mapa, segundo as datas 1905, 1914, 1930, 1940, 1952, 1962, 1972, 1996 e 2001, no sistema UTM, ajustados à carta topográfica em papel. Foram utilizados 08 pontos de controle para cada imagem, este número de pontos de controle foi limitado pela dificuldade de se encontrar pontos semelhantes nos mapas analógicos, por estes serem bastante generalizados. Utilizou-se como algoritmos de correção, o Linear e o Vizinho Mais Próximo. Com este procedimento foram obtidos mapas digitais que representam o crescimento do aglomerado urbano nas respectivas datas 1905, 1914, 1930, 1940, 1952, 1962, 1972, 1996 e 2001.

Análise espacial urbana em SIG

A base de dados digital com escala 1:100.000 e coordenadas UTM foi utilizada para localizar e considerar a Praça da Sé como o ponto inicial do desenvolvimento urbano de São Paulo, determinando a localização do ponto central com coordenadas

(333.100; 7.394.900). A partir deste ponto central foi processada uma imagem com valores contínuos de distância em metros, na qual os valores aumentam com a afastamento do ponto de referência. Esta imagem de distâncias foi reclassificada e gerou uma imagem de distâncias com intervalos de 1.000m, estruturados em círculos concêntricos com raios variando de 1.000m a 55.000m, este intervalo de 1000m foi escolhido para manter o mesmo tamanho de janela de observação para as diferentes datas analisadas. Para cada círculo concêntrico foram calculados seus valores de área (m^2).

Os mapas do aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo em datas 1905, 1914, 1930, 1940, 1952, 1962, 1972, 1996 e 2001 foram, individualmente, sobrepostos à imagem dos círculos concêntricos gerando nove mapas. As imagens resultantes apresentaram as variações de ocupação do solo por área construída a partir do afastamento do ponto central e inicial do desenvolvimento urbano. Podendo ser descrita: (1) aglomerado urbano em 1905 sobre raios de 1.000 a 10.000; (2) aglomerado urbano em 1914 sobre raios de 1.000 a 9.000; (3) aglomerado urbano em 1930 sobre raios de 1.000 a 22.000; (4) aglomerado urbano em 1940 sobre raios de 1.000 a 22.000; (5) aglomerado urbano em 1952 sobre raios de 1.000 a 31.000; (6) aglomerado urbano em 1962 sobre raios de 1.000 a 53.000; (7) aglomerado urbano em 1972 sobre raios de 1.000 a 52.000; (8) aglomerado urbano em 1996 sobre raios de 1.000 a 55.000; (9) aglomerado urbano em 2001 sobre raios de 1.000 a 52.000.

Foram utilizados os resultados obtidos nas comparações entre ocupação por área urbana e distâncias a partir do centro nas diferentes datas, das informações espaciais, calculando-se os valores de área das classes de ocupação por área construída em cada círculo concêntrico ocupado.

Estimativa da Dimensão Fractal do Aglomerado Metropolitano de São Paulo

A dimensão fractal D_g , pode ser adotada como o parâmetro que estima a densidade de áreas construídas em relação à distâncias, a partir do centro da cidade (CBD). Se toda a área for construída dentro de um determinado círculo com raio conhecido, o valor de área ocupada pode ser substituído pelo valor da área do círculo, logo a dimensão fractal é máxima ou $D_g=2$. Se existem áreas construídas, mas sua densidade diminui a medida que se afasta o centro, D_g será menor que 2. Observando-se que a área total do raio cresce em uma taxa mais rápida que a área construída, isto implica que as margens da estrutura se tornam altamente esparsas à medida que a estrutura cresce.

Os procedimentos adotados para obtenção da dimensão foram realizados a partir dos dados resultantes das imagens analisadas no SIG, sendo estes: (1) valores de área de cada círculo concêntrico, (2) valores área das áreas de ocupação urbana, em cada círculo concêntrico e (3) comprimento de raio a partir do centro.

Na obtenção dos valores de dimensão fractal, utilizou-se a associação do método de círculos concêntricos com o método de contagem de células. Para a mensuração da dimensão fractal baseada na medida de densidade do objeto, a partir do número de partes ou valor de área ocupada por cada círculo concêntrico e valor de área de ocupação por área construída, considerando a resolução fixa r e valor de comprimento de cada raio.

Para encontrar o valor de D_g do aglomerado urbano para cada data analisada, empregou-se a equação de densidade de ocupação em termos da relação de escalonamento baseado no padrão de comparação de comprimento R , onde a densidade de ocupação diminui com o alongamento da distância do centro. Assim, foram

calculadas a dimensão, a partir da densidade de ocupação por área construída $\tau(R)$, com distância R a partir do centro, utilizando a equação 3.10.

As variações de D_d para cada data analisada foram representadas no gráfico, utilizando a variação de valores da dimensão $D(R)$. Também foi obtido o valor médio da dimensão da região metropolitana para cada data, obtidos a partir da média da densidade $\tau(R)$ em raios R .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução da aglomeração urbana da região metropolitana de São Paulo, no período 1905-2001, está representada pela figura 1. Esta figura fornece uma representação dos diferentes tamanhos do aglomerado ao longo do período analisado, permitindo estabelecer proporções de área do aglomerado e também identificar as direções predominantes da ocupação, bem como, a consolidação ou não do processo de ocupação do espaço. Os padrões morfológicos do aglomerado urbano no período estudado, são caracterizados pela análise fractal a partir da densidade de ocupação. Os valores de dimensão fractal (D_d) de áreas urbanas obtidos pela densidade de ocupação urbana denotam uma tendência de baixa densidade do aglomerado, quando o valor de D_d aproxima-se de 1; e elevada densidade de ocupação, quando próximo de 2 (LAM; DE COLA, 1993). A variação de D_d entre estes valores demonstra o processo de preenchimento do espaço, podendo ocorrer de forma homogênea ou fragmentada. A partir da densidade de ocupação do aglomerado urbano, pode-se inferir sobre o adensamento populacional, pois para Mayer (1976) o crescimento populacional está relacionado à dimensão da área urbanizada, que é considerada toda área construída inserida nos limites físicos da cidade.

Os valores de dimensão fractal (D_d) médios, mínimo e máximo determinados pela densidade de ocupação em relação à variação de R (raio em relação ao centro urbano), para o aglomerado urbano de São Paulo, no período 1905-2001, são apresentados na tabela 2.

Figura 1 - Representação do crescimento espacial do aglomerado urbano da região metropolitana de São Paulo, no período 1905-2001

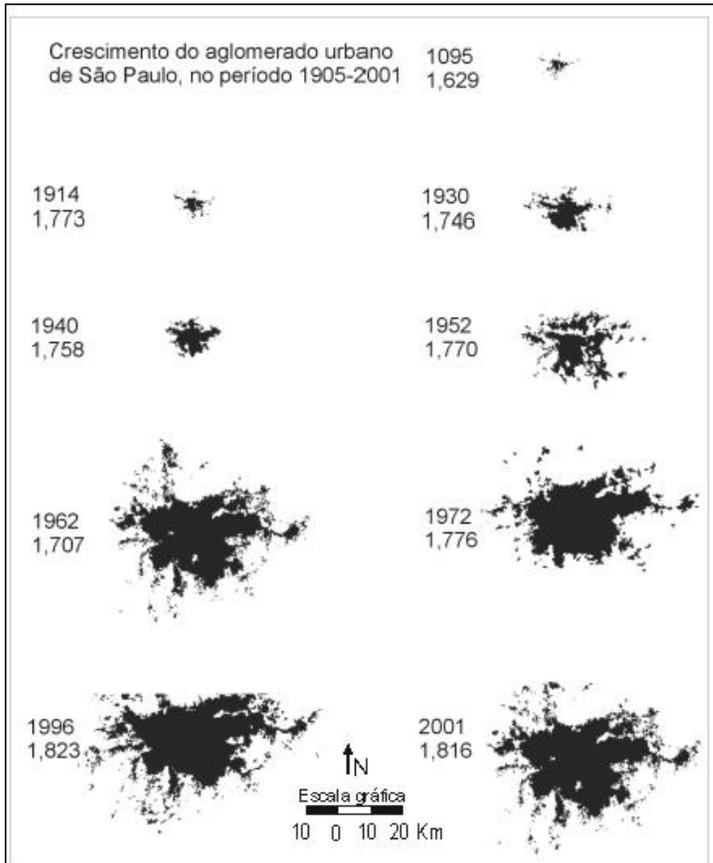


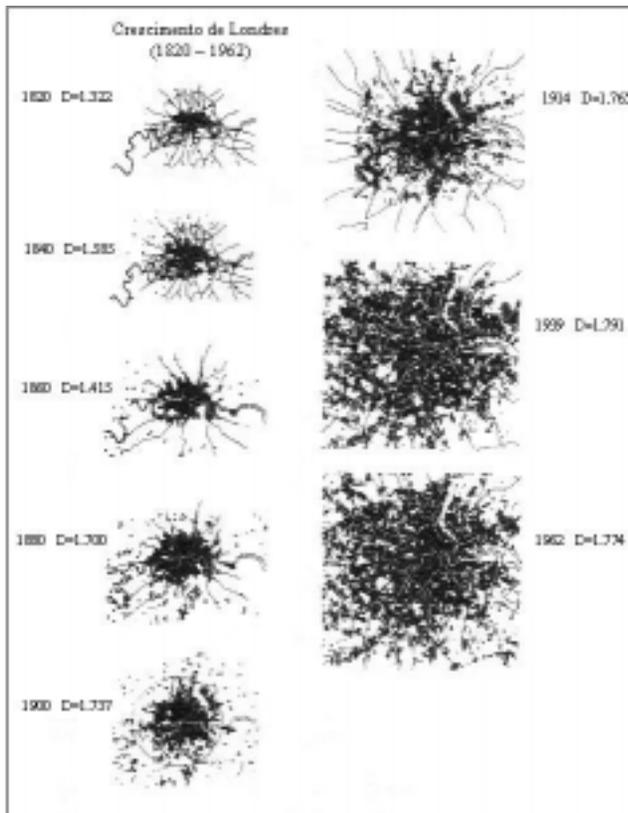
Tabela 2 - Valores dos parâmetros da dimensão fractal, obtidos pela análise da densidade de ocupação urbana, para o período de 1905 a 2001

	Período Analisado									
	1905	1914	1930	1940	1952	1962	1972	1996	2001	
R (Km)	1-10	1-9	1-22	1-21	1-31	1-53	1-52	1-55	1-52	
$\rho(R)$	0,2076	0,3261	0,3208	0,3568	0,3521	0,2854	0,3695	0,4077	0,4247	
D_d	1,6298	1,7730	1,7462	1,7585	1,7709	1,7070	1,7769	1,8231	1,8169	
$D(R)_{min}$	1,1177	1,5372	1,2177	1,2176	0,8200	1,2614	1,1916	1,4529	1,1056	
$D(R)_{max}$	1,9616	1,9861	1,9972	1,9995	1,9965	1,9974	1,9994	1,9993	1,9994	

Na literatura, as cidades européias, norte-americanas e asiáticas, analisadas pela relação de densidade, apresentam valores médios de D_d entre 1,6 e 1,8 (BATTY; LONGLEY, 1994; FRANKHAUSER, 1994).

A figura 2, apresenta o crescimento urbano de Londres, que ilustra uma representação típica do desenvolvimento fractal de um aglomerado urbano, com valores de D_d entre 1,322 a 1,774 no período 1820-1962 (BATTY; LONGLEY, 1994). Os valores de D_d obtidos para a região metropolitana de São Paulo (tabela 2 e figuras 1, 2, 3 e 4) são consistentes com aqueles descritos na literatura, indicando uma representação de crescimento compatível com o padrão identificado para os aglomerados metropolitanos, que compreende segundo Batty e Longley (1994): uma densificação de forma radial de espaços cada vez mais distantes das áreas centrais, como determinante da expansão urbana para áreas periféricas; e o valor de D_d para cada raio, ao longo do espaço ocupado pelo aglomerado, sugere a assinatura fractal do crescimento e sua associação com a forma geométrica e o contorno da área urbanizada, permitindo identificar o padrão de crescimento desde sua manifestação até sua caracterização.

Figura 2 - Crescimento do aglomerado urbano de Londres, e respectivos valores de D_d no período 1820-1962
Fonte: BATTY; LONGLEY (1994)

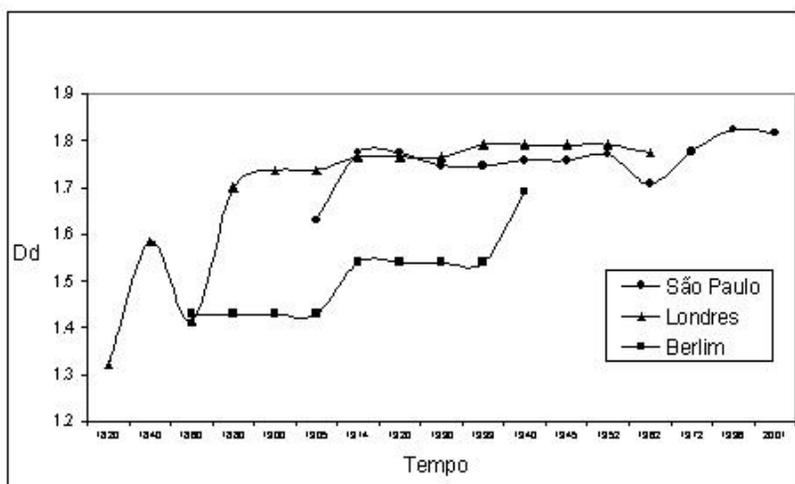


A análise da figura 3 mostra que no aglomerado de São Paulo a densidade de ocupação do espaço se apresenta compatível com a tendência das grandes metrópoles, onde ocorrem uma maior densidade de ocupação nas áreas próximas ao centro e uma diluição desta à medida que se distancia para as áreas periféricas, como princípio para a expansão da área construída.

Figura 3 - Assinaturas fractais da região metropolitana de São Paulo, obtidos com base na densidade de ocupação, segundo as datas analisadas



Figura 4 - Comportamento fractal de São Paulo, Londres (BATTY; LONGLEY, 1994) e Berlim (FRANKHAUSER, 1994)



A figura 4 ilustra o comportamento fractal do aglomerado urbano no processo de evolução temporal das cidades de São Paulo, Londres e Berlim. A análise dos valores médios de D_d para São Paulo, revelam uma alta densidade de ocupação por área construída na evolução espacial da área urbanizada a partir de 1930. Enquanto que para Londres a alta densidade de ocupação é identificada desde 1900. O crescimento dos aglomerados de São Paulo (desde 1914) e Londres (desde 1900) seguem uma relação alométrica de desenvolvimento, apresentando valores de D_d com pequena variação em uma ampla variação temporal, sugerindo coordenação eficiente entre compactação e crescimento do espaço urbano, o que apenas ocorre, segundo Batty e Longley (1994), em áreas urbanas onde predominam novas tecnologias nas áreas de construção, transporte e gerenciamento. Berlim apresentou grande variabilidade no crescimento do aglomerado urbano, demonstrado pela variação de D_d em curto intervalo temporal, exigindo maior domínio tecnológico para conciliar a elevada densificação espacial com as restrições físicas em curto período de tempo.

O valor de dimensão fractal na relação de densidade pode oscilar muito no início do processo de urbanização, mas posteriormente tende a apresentar um valor de referência médio, da ordem de 1,7, caracterizando a efetivação do processo de urbanização. O valor de D_d nas áreas periféricas não devem ser considerado representativo da densidade de ocupação, devido ao rápido crescimento verificado nestas áreas. Desta forma, o valor mais coerente a ser considerado é o obtido pela média dos valores determinados de D_d (BATTY; LONGLEY, 1994). Por outro lado, a variação dos valores de D_d a medida em que a distância aumenta a partir das áreas centrais em direção às áreas periféricas, caracteriza a heterogeneidade, representativa do processo de difusão do aglomerado. Portanto, quando é homogêneo, significa consolidação do processo de densificação da ocupação. A figura 3 revela que o processo de densificação do aglomerado urbano de São Paulo ainda não está consolidado.

Os altos valores de dimensão fractal apresentados pela densidade de ocupação, em todas as datas analisadas, indicam fragmentação do contorno das áreas periféricas, o que está associado à uma maior densidade de ocupação nas áreas centrais e à uma distribuição heterogênea das estruturas ao longo do espaço urbano periférico (figuras 1 e 3, tabela 2). Este processo de concentração das estruturas nas áreas centrais e diluição destas em áreas periféricas é, para Batty e Longley (1994), fundamental para o crescimento de áreas urbanas, pois as áreas periféricas tendem a homogeneizar sua densificação antes de se expandir para novas áreas. Para os modelos de estrutura urbana, este tipo de expansão ocorre pela valorização das áreas centrais e sua ocupação por atividades comerciais, favorecendo a ocupação das áreas periféricas pelas classes residencial e industrial, o que denota um crescimento populacional (KIVELL, 1993).

A análise do processo de densificação e fragmentação do espaço do aglomerado urbano RMSP no período 1905-2001 (figura 3 e tabela 2), permitiu a identificação de uma assinatura fractal (comportamento dos valores de D_d ao longo do espaço urbano) e, assim, a interpretação das relações entre os aspectos físicos e antrópicos pela geometria urbana. Em 1905, a fragmentação do aglomerado urbano é maior em relação as demais datas analisadas, como constatado nos valores de dimensão fractal obtido pela densidade de ocupação. Isto indica a ocorrência de menor preenchimento por ocupação urbana. Os resultados retratam a situação socioeconômica neste período que, segundo Villaça (1978) e EEMPLASA (1982), é caracterizada pela intensificação da imigração, instalação de indústrias têxteis, alimentícias e químicas, implantação da rede rodo-ferroviária, aumento do número de trabalhadores assalariados, intensificação do comércio e do transporte pelo crescimento da economia cafeeira.

A consolidação em 1914, do processo econômico iniciado no começo do séc. XX, fez reduzir a fragmentação do aglomerado, aumentar o preenchimento por área construída de forma heterogênea.

No período de 1930 a 1950, a área metropolitana de São Paulo apresentou valores elevados e relativamente estáveis de ocupação do espaço urbano e da forma heterogênea como esta ocupação ocorreu no espaço, o que pode estar associado ao surgimento de auto-estradas, de novos aglomerados industriais e residenciais e pela aglutinação dos municípios de Santo André, São Bernardo e São Caetano, conforme a caracterização dos processos socioeconômicos descritos por Silva Neto (1990) e Gonçalves (1994) para este período. Apesar desta expansão nas áreas periféricas do aglomerado, a densidade de ocupação e sua heterogeneidade observadas neste período foram ocasionadas principalmente pela intervenção da administração pública na área central e no aglomerado a ela integrado, promovendo uma reestruturação urbana, tais como: vias expressas do centro para os bairros, surgimento dos bairros mistos (residenciais/indústrias) e bairros-jardim.

A estruturação destes bairros retrata o processo de densificação da área urbana em função de atividades econômicas. A instalação das linhas férreas em terrenos de baixo custo (áreas de várzeas dos rios Tietê e Tamanduateí) atraiu fábricas e bairros residenciais com construções de baixo padrão, tais como Brás, Moóca, Bexiga, Belenzinho e Bela Vista. Por outro lado, os bairros-jardim, situados em loteamentos que nasceram em função do progresso econômico da Av. Paulista, deram origem a bairros de construção de alto padrão, entre eles, Jardim América, Jardim Europa, Jardim Morumbi, Pacaembu e Alto da Lapa. A saturação urbana, constada por Souza (1999) e Corrêa (2001) na década de 60, pode ser verificada pela redução do valor de D_d , apresentado em 1962, demonstrando uma fragmentação da área construída.

A análise das datas de 1972, 1996 e 2001, mostra pequeno aumento no processo de preenchimento do espaço pelas estruturas urbanas e um contínuo aumento da sinuosidade da linha do perímetro (constatados pelo aumentando progressivo dos valores de dimensão fractal obtidos pela densidade de), em relação a data de 1962.

A partir de 1972, o valor de D_d diminui progressivamente até 2001, indicando diluição do preenchimento das áreas periféricas e fragmentação do aglomerado urbano. Contribuíram para este fenômeno o processo de descentralização das atividades econômicas, que ocasionou dilatação das áreas centrais, afastamento dos estabelecimentos comerciais e industriais (ao longo das marginais e principais rodovias), afastamento das áreas residenciais para a periferia, ocasionando aumento da favelização (segregação econômica), surgimento das cidades-jardins e condomínios (auto segregação) e a consolidação dos sub-centros, de acordo com as informações descritas por Santos (1990), Souza (1999), Corrêa (2001) e Prastes (2001).

CONCLUSÃO

A representação do espaço pela geometria fractal possibilita estudar, nas áreas urbanas, questões relacionadas ao preenchimento dos espaços vazios, às dimensões espaciais dos limites urbanos, à dinâmica interna do aglomerado e, assim, quantificar em termos cartográficos, o crescimento das cidades. Esta análise contribuiu para a formulação de teorias urbanas mais apropriadas à realidade, sob a luz da cartografia e da análise espacial dos fatores econômicos, político-sociais e de planejamento urbano.

Os resultados obtidos para região metropolitana de São Paulo, no período 1905-2001, mostraram valores de dimensão fractal que permitiram observar as variações da densidade de ocupação, a área e o contorno do aglomerado urbano. O valor de dimensão fractal fornecido pela relação de densidade de ocupação por área construída,

confirma a tendência de maior preenchimento do espaço nas áreas centrais do aglomerado urbano e a diluição desta ocupação nas áreas periféricas do aglomerado. A caracterização da expansão urbana é manifestada por um padrão de ocupação orientado pelo processo de densificação de áreas periféricas como fator determinante do crescimento do aglomerado para áreas ainda mais distantes.

O estudo permitiu considerar que os dados cartográficos e as imagens orbitais podem se constituir em fonte de limitação na aquisição da informação em análises multitemporais. Isto porque há diferenças na interpretação do uso e ocupação do solo, quando realizada por diferentes interpretes e quando se emprega produtos obtidos por sensoriamento remoto, que são resultantes do avanço da tecnologia de aquisição. Estes avanços interferem na resolução da imagem e, conseqüentemente, na identificação e interpretação dos objetos da superfície terrestre. Para futuras pesquisas, a base de dados digital deve apresentar maior resolução espacial, melhorando a interpretação dos objetos urbanos, o que possibilitará a avaliação da sensibilidade da estimativa da dimensão fractal.

REFERÊNCIAS

- BATTY, M.; LONGLEY, P. The fractal simulation of urban structure. **Environment and Planning**. v. 18, p. 1143-1179, 1986.
- BATTY, M.; LONGLEY, P. The morphology of urban land use. **Environment and Planning B**. v. 15, p. 461-488, 1988.
- BATTY, M.; LONGLEY, P. **Fractal cites**. San Diego: Academic Press Inc, 1994. 394 p.
- BATTY, M.; LONGLEY, P.; FOTHERINGHAM, A. S. Urban growth and form: scaling, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation. **Environment and Planning**. v. 21, p. 1447-1472, 1989.
- CASTELLS, M. **La question urbana**. Cidade do México: Siglo Veintruno, 1976.
- CORRÊA, R. L. **Trajetórias Geográficas**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bestrand Brasil, 2001. 304 p.
- COSTA, M. A. **Expansão urbana e organização espacial**. Recife: Ed. Universitária, 1982. 248 p.
- DE COLA, L.; LAM, N. S. **Fractals in Geography**. Nova Jersey: Prentice Hall, 1993, 308p.
- EMPLASA (Estado). Secretaria de Negócios Metropolitanos. **A grande São Paulo hoje**. São Paulo, 1982.
- EMPLASA (Estado). Secretaria de Negócios Metropolitanos. Dados demográficos e estatísticos. <<http://www.emplasa.gov.br>>, 2004.
- FRANKHAUSER, P. **La fractalité des structures urbaines**. Paris: Anthropos, 1994. 291 p.
- GONÇALVES, M. F. Novas configurações no desenvolvimento urbano paulista. **Espaço & Debates**. Campinas, n. 38, p. 54-61, 1994.
- GONÇALVES, C. W. P. Formação sócio-espacial e a questão ambiental no Brasil. In: _____ **Geografia e meio ambiente no Brasil**. Rio de Janeiro: HUCITEC, 1995. p. 309-333.

- GOODCHILD, M. Fractals and the accuracy of geographical measures. **Mathematical Geology**. v. 12, n. 2, p. 85-98, 1980.
- GOODCHILD, M. F.; MARK, D. M. The fractal nature of geographic phenomena. **Anais: Association of American Geographers**, v. 77, n. 2, p. 265-278, 1987.
- IBGE (Brasil). Instituto Brasileiro Geográfico e Estatístico. <<http://www.ibge.gov.br>>, 2000.
- KIVELL, P. **Land and the city: Patterns and processes of urban change**. Londres e Nova York: Routledge, 1993. 223 p.
- KLINKENBERG, B.; GOODCHILD, M. F. The fractal properties of topography: a comparison of methods. **Earth Surface Processes and Landforms**. v. 17, p.217-234, 1992.
- LECIONI, S. Reestruturação urbano-industrial no Estado de São Paulo: a região da metrópole desconcentrada. **Espaço & Debates**. Campinas, n. 38, p. 54-61, 1994.
- LONGLEY, P. A.; BATTY, M. Fractal measurement and line generalization. **Computers & Geosciences**. v. 15, n. 2, p. 167-183, 1989.
- LONGLEY, P.; MESEV, V. Measuring urban morphology using remotely-sensed imagery. In: DONNAY, J. P. **Remote sensing and urban analysis**. Nova York: Taylor Francis, 2001. p. 163-183.
- MAYER, H. M. Perspectiva da Geografia urbana. In: HAUSER, P.; SCHNORE, L. F. **Estudos de Urbanização**. Tradução: COSTA, E. R. São Paulo: Pioneira, 1976. p. 75-104.
- NEGRI, B.; PACHECO, A. Mudança tecnológica e desenvolvimento regional nos anos 90: a nova dimensão espacial da indústria paulista. **Espaço e Debates**. Campinas, n. 38, p. 62-78, 1994.
- PRATES, R. C. **Reestruturação da metrópole paulista: o processo de descentralização industrial, 2001**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - FFLCH-USP, São Paulo 2001.
- SANTOS, M. **Metrópole corporativa fragmentada: o caso de São Paulo**. São Paulo: Nobel, 1990. 117 p.
- SILVA NETO, M. L. **Extensores urbanos: o caso da cidade de São Paulo, 1990**. 205f. Dissertação (Mestrado) - FAU-USP, São Paulo, 1990.
- SERRA, G. **O Espaço Natural e a Forma Urbana**. São Paulo: Nobel, 1987. 211 p.
- SOUZA, M. L. **O desafio metropolitano**. Um estudo sobre a problemática sócio-espacial nas metrópoles brasileiras. São Paulo: Bertand Brasil, 1999. 366 p.
- TINOCO, A. C. Integração ou fragmentação. O impasse gerado pelo feitichismo da desconcentração. **Espaço & Debates**. Campinas, n. 41, p. 46-65, 2001.
- TORRENS, P. M. How land-use-transportation models work. **Center for Advanced Spatial Analysis**. Working Paper Series, Paper 20, 2000. 75 p.
- VILLAÇA, F. **A estrutura territorial da Metrópole sul brasileira**. São Paulo: USP-FFLCH Departamento de Geografia, 1978. 230 p.

Recebido em julho de 2005

Aceito em dezembro de 2005