4.
O estudo do Sensoriamento Remoto – Modelagem de classificação e trabalhos discutidos
4.1.
Importância do estudo baseado em objetos

Nas últimas décadas do século XX o ser humano se deparou com uma modificação estrutural na sua sociedade a partir do desenvolvimento tecnológico que propiciou a criação e o acesso à informação em níveis nunca antes vistos (Castells, 1999). A produção desenfreada de informações que se acumulam e, consequentemente, não são utilizadas pelo ser humano, configuram-se como uma preocupação sobre a contínua "perda" de informações (através da relação da existência dos dados e da capacidade de utilização, e interpretação, dos dados gerados).

De acordo com a Pesquisa "The Expanding Digital Universe" produzida pelo Instituto de Pesquisas IDC:

> a quantidade de informação digital criada, capturada e replicada foi de 1.288 x 1018 bits. Na linguagem computacional, isso seria 161 exabytes ou 161 bilhões de gigabytes. (...). Isso seria aproximadamente 3 milhões de vezes a informação contida em todos os livros já escritos (Reinsel et al., 2007, p.3)

O desenvolvimento da técnica (principalmente o da informática) contribui para que o ser humano passe a ter em suas mãos um cabedal de ferramentas para agir sobre o território e pensar o espaço geográfico a partir do momento em que tais técnicas passam a fornecer informações sobre o espaço de ação do próprio homem. Assim, conforme já apresentado anteriormente, as geotecnologias convergem para um ambiente no qual a análise do espaço geográfico pode se realizar a partir de inúmeras formas de representação. É exatamente neste sentido que o Sensoriamento Remoto se traduz como um conjunto de técnicas que contribui para que o ser humano passe a entender e interpretar, a partir de outra perspectiva, as diversas informações na superfície terrestre.

> Com o auxílio de satélites e computadores, a cartografia vem se tornando cada vez mais um verdadeiro Sistema de Informações Geográficas, visando a coleta, o armazenamento, a recuperação, a análise e a apresentação de informações sobre lugares, sendo estas monitoradas no tempo, além de proporcionar simulações de

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

> eventos e situações complexas da realidade, tendo em vista a tomada de decisões deliberadas. (Martinelli, 2003, p. 04, apud Bernaski e Watzlawick, 2007).

Conforme já discutido anteriormente, Forman (1995, p.35), ao discutir a importância da Ecologia da Paisagem, apresenta a ideia de que o sensoriamento remoto permitiu ao homem a observação do próprio dimensionamento e entendimento das parcelas espaciais quando afirma que: "imagens de satélite revolucionaram nossa percepção e abordagens no endentimento das paisagens e regiões. Pela primeira vez uma região como um todo pode ser examinado emu ma única imagem" [23].

Desta maneira, podemos começar a pensar o Sensoriamento Remoto como um aparato ferramental que utiliza "de sensores para aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles" (INPE, 2006). Ora, a partir de uma série de trabalhos (Addink et. al 2007, Johansen et. al 2007, Lackner & Conway, 2008 entre muitos outros) uma vasta gama de autores apresentam de que maneira o sensoriamento remoto vem contribuindo para a interpretação da realidade a partir de uma série de objetos específicos (estruturas vegetacionais, identificação de estruturas urbanas, entre outras).

Carvalho (2011) aponta inclusive que o uso do sensoriamento orbital no Brasil para a elaboração de estudos urbanos, só teve início a partir da década de 70. Entretanto, o uso, até o lançamento do IKONOS-II (no ano de 2000), permitia apenas a análise de dados para a escala regional (aproximadamente 1:100.000, por conta das características do sensor). A partir do ano de 2000 a utilização de imagens de alta resolução propulsionou e modificou inclusive o foco da pesquisa urbana no país, tornando-se a diferenciação intra-urbana o principal foco das pesquisas realizadas.

Desta maneira, o advento das imagens de alta-resolução, além da disponibilidade de um aparato ferramental (como por exemplo, os Sistemas de Informação Geográfica) para tratar tais imagens, acabou por se tornar fulcral para o próprio desenvolvimento da área de pesquisa.

---

[23] Tradução livre do trecho: "Images from satellites have revolutionized our perception and approaches to understanding landscapes and regions. For the first time a whole region can be examined in a single image".

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

Entretanto, ao longo do tempo, diferentes metodologias foram utilizadas para a análise destas imagens. Análises baseadas fundamentalmente nos pixels da imagem, nos seus sub-píxels, ou ainda através da metodologia *linear mixing model* e na utilização da lógica *fuzzy*, entre outros, tornaram-se tentativas metodológicas para a interpretação e consequente representação da paisagem geográfica (Blaschke et al., 2000). Porém, alguns destes métodos se apresentaram obsoletos com o avanço tecnológico dos sensores (melhoria progressiva da resolução espacial das imagens e subsequente aumento da complexidade inerente a própria paisagem geográfica). Em artigo publicado no Jornal de Fotogrametria e de Sensoriamento Remoto[24], Blaschke (2010), apresentando uma série de outros trabalhos, busca inclusive demonstrar alguns dos limites da metodologia da análise de imagens baseada unicamente nos pixels (Figura).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

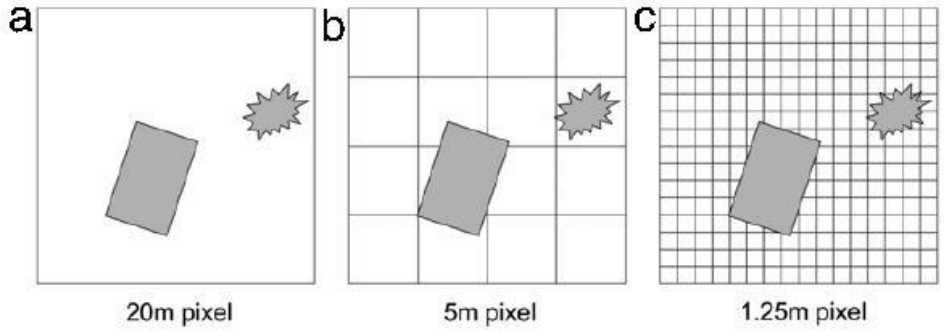

Figura 16: A situação da relação objeto-píxel:

(a) baixa resolução: pixels são maiores do que os objetos, tornando-se verificável a generalização das informações espaciais dos objetos a serem representados. (b) média resolução: os pixels e os objetos possuem a mesma ordem, demonstrando que a técnica da análise píxel por píxel é apropriada. (c) alta resolução: os píxels tornam-se menores que os objetos, demonstrando a necessidade da regionalização dos píxels em grupos de píxels para consequente transformação em objetos.
(fonte: Blaschke, 2010)

Desta maneira, conforme apresentado a partir da Figura e conforme discutido por Blaschke (2010), com o já supracitado desenvolvimento de uma tecnologia voltada para a obtenção de imagens de satélite de alta resolução, o

[24] *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*

agrupamento dos pixels torna-se essencial para que seja levantada uma série de características e informações que podem ser derivadas deste objeto em comparação àquilo que poderia ser observado com a utilização dos pixels como unidade base. Assim, a segmentação pode ser entendida como uma operação que consiste na construção de blocos nas quais, a partir da aglutinação dos pixels em objetos a partir de critérios de homogeneidade com uma ou múltiplas dimensões de feições espaciais.

Estes objetos gerados passam então a possuir informações não só de origem espectral (atributo central da análise baseada no pixel), mas passam também a possuir informações várias referentes a diversificadas características espaciais, como por exemplo, tamanho, forma, textura, entre outros. É importante destacar que dados espectrais também passam a se tornar características destes mesmos objetos, como por exemplo, os valores médios de refletância, valores mínimos e máximos de brilho, entre outros. Inclusive, de acordo com Blaschke et al., (2000) , a textura é uma das características que se configuram como uma das mais importantes na análise de imagens.

> A maior motivação para o desenvolver técnicas para extração de objetos de imagens provém do fato de que a maior parte dos dados de imagem apresentam caracteróstocas texturais que são negligenciadas em classificações comuns. A textura de uma imagem pode ser definida a partir de sua suavidade ou aspereza. (Blaschke et al., 2000, p. 558) [25]

É importante ainda destacar que a utilização de um algoritmo de segmentação busca a homogeneidade relativa dos objetos levantados e a elaboração de um grupamento de pixels semanticamente significantes. Tais objetos definidos pela homogeneidade e pela sua semântica tornam-se objetos candidatos (ideais) que podem vir a ser inclusive utilizados em procedimentos futuros. De acordo com Schiewe (2002, apud Blaschke, 2010), o procedimento de segmentação é elaborado basicamente em quatro catgorias a partir de diferentes

[25] Tradução livre do trecho: "The strong motivation to develop techniques for the extraction of image objects stems from the fact that most image data exhibit a characteristic texture which is neglected in common classifications. The texture of an image can be defined in terms of its smoothness or its coarseness".

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

algoritmos utilizados: baseada nos limites, baseada em regiões, baseada em pontos e baseada na combinação entre os mesmos[26].

Novack e Kux (2010) apontam a existência de várias potencialidades do estudo baseado no objeto em comparação com o baseado em pixels sendo eles: a) a utilização e exploração de uma série de atributos de descrição existentes nos objetos (e inexistentes nos píxels), tais como, a textura do objeto, o contexto sobre o qual se encontra (a ser discutido no sub-capítulo de Topologia entre objetos), geometria, entre outros; b) a possibilidade da utilização de dados de diferentes origens e resoluções espaciais, assim como a utilização de dados auxiliares (como por exemplo, dados geográficos); c) criação de descrições de classe associados a utilização de uma função específica, como por exemplo a função baseada na lógica *fuzzy*; d) a possibilidade do estabelecimento de um arranjo hierárquico de valores de pertencimento, calculado para cada característica de descrição de determinada classe, utilizando operadores diferenciados, e por fim, e) a possibilidade de representação do conhecimento humano baseado em uma estrutura de hierarquia e rede semântica.

Além disso, um dos maiores ganhos da dimensão espacial dos objetos criados passa a ser de suma importância para a metodologia baseada na Análise de imagem baseada em Objetos (AIBO)[27]. Anteriormente, o principal objetivo em relação à análise de objetos era o estabelecimento e reprodução de objetos (vetores) que não se sobrepusessem, ou seja, era um problema de definição de escala (Blaschke, 2009). Com a utilização de imagens de satélite de alta resolução, o estabelecimento da visão mono-escalar, deu lugar à segmentação multi-escalar, que buscava a apreensão de objetos diferentes em diferentes escalas de análise (como já explicitado nas discussões feitas no Capítulo 2, a escala geográfica e a

[26] Blaschke et al., (2000) apresentam que a segmentação baseada nos limites está associada à um processo no qual os limites entre objetos são definidos por mudanças nos valores em relação aos seus vizinhos. Já a segmentação baseada na região está associada à alguns pontos iniciais que crescem (formando-se pequenas regiões) até um determinado limiar, sendo este limiar um critério de homogeneidade qualquer ou uma relação entre o tamanho do objeto e sua homogeneidade.

[27] É importante, entretanto destacar que, apesar de ser citado o termo AIBO este termo é considerado bastante amplo pois ele pode estar associado à qualquer disciplina que trabalhe diretamente com análise de imagem. Neste sentido, Johansen (et al., 2010, apud Carvalho, 2011) aponta "que o termo GEOBIA (da sigla em inglês "Geographic Object-Based Image Analysis" tem sido proposto para enfatizar a base geográfica da análise, ou seja, a dependência de dados de sensoriamento remoto e a geração de informações espaciais"

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

cartográfica, passam a participar de maneira decisiva sobre o modo como o homem interpreta e percebe a paisagem).

> A visão humana geralmente tende a dividir imagens em áreas homegêneas em primeiro lugar, e caracteriza estas áreas mais precisamente depois (Gorte, 1998). Seguindo esta hipótese, pode-se argumentar que, dividindo com sucesso uma imagem em objetos significativos da superfície da terra, feições mais intuitivas serão resultadas. O problema é definir o termo "objetos significativos". Dificilmente consiste em limites rígidos, mas também não significam um *continuum*. Existem transições claras na superfície da terra, mas também transições suaves. Estas transições estão também sujeitas a definições específicas e subsequentemente, dependentes da escala. Portanto, os segmentos em uma imagem nunca representarão "objetos significativos" em todas as escala, para qualquer aplicação, e, como será discutido mais tarde, para segmentações multi-resolução (Blaschke et al,. 2002, p.558). [28]

É exatamente neste sentido que a construção de um sistema baseado em conhecimento, pode contribuir para a estruturação do modelo de classificação ao qual se propõe o presente trabalho. Conforme apontado acima, a AIBO permite uma série de possibilidades que vão de encontro à complexidade e a multi-escalaridade. Adotando-se um sistema que permeie um inter-relacionamento arco-nó[29], fundado em uma estrutura hierárquica (como será visualizado mais adiante), torna-se então possível estabelecer regras que possibilitem uma construção do geral ao particular, assim como do particular para o geral.

É importante destacar que desta maneira, o modelo pode ser construído respeitando-se fundamentalmente dois procedimentos: "De cima para baixo" (Top-Down) e de "Baixo para cima" (Bottom-Up). Estes procedimentos visam permitir que os objetos sejam classificados de acordo com as regras estabelecidas por cada nó. Desta maneira, na operação TD[30] os objetos tendem a ser retransmitidos para níveis cada vez mais baixos da rede semântica. Porém, este tipo de operação pode resultar em múltiplas hipóteses para cada objeto, o que

---

[28] Tradução livre do trecho: "Human vision generally tends to divide images into homogeneous areas first, and characterises those areas more carefully later (Gorte 1998). Following this hypothesis, it can be argued that by successfully dividing an image into meaningful objects of the land surface, more intuitive features will result. The problem is to define the term 'meaningful objects'.hardly consists of hard boundaries but it is also not a true continuum. Thereare clear, but sometimes soft, transitions in land cover. These transitions are also subject to specific definitions and subsequently dependent on scale. Therefore, segments in an image will never represent meaningful objects at all scales, for any application and, as will be argued later, for multi-resolution segmentation".

[29] Nesta relação, os nós são entendidos como os objetos que se desejam derivar a partir da cena analisada e os arcos representam as diversas relações entre estes objetos.

[30] *Top-Down*

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

significa por sua vez que isso ocasionará variadas respostas possíveis para alguns objetos, ocasionando assim um conflito interpretativo nos dados. Em outras palavras, de acordo com Pahl (2008), existem duas estratégias (complementares) para que se torne possível a classificação automática destes objetos na qual se tenta "reconhecer as estruturas maiores de um problema e refiná-las, na expectativa de que os problemas parciais num certo momento serão tão pequenos que permitirão uma solução", (TD) assim como se tenta escrutinizar "a solução de problemas parciais, na expectativa de que estas soluções parciais possam ser combinadas, mais adiante, numa estratégia de solução geral" (BU[31]). Assim, a utilização de uma metodologia baseada na AIBO pode, por exemplo, contribuir diretamente na busca por situações que partem do geral para o particular e do particular para o geral permitindo o restabelecimento de regras de classificação.[32]

Como apresenta Almeida (2010, apud Carvalho, 2011, p 24): "a análise baseada em objeto pressupõe o uso de redes semânticas, que podem conter um ou mais níveis de classificação interligados, de modo que se possa simular a visão contextual de um intérprete humano".

É exatamente a partir deste tipo de estrutura que se tornará possível estabelecer um modelo de classificação semi-automática mais eficaz, e que vise uma interpretação da paisagem cada vez mais dinâmica, mas também que leve em conta os processos, os conteúdos e a relação da forma-conteúdo, propiciando assim a tomada de decisões que visem contribuir para a própria gestão do espaço.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

4.2. Topologia: Uma análise crucial para o entendimento dos relacionamentos dos objetos geográficos

Schenider e Berh (2006) apresentam como a análise da relação topológica entre diferentes tipos de objetos pode contribuir para uma avaliação qualitativa entre diferentes objetos no espaço. Estes diferenciados relacionamentos podem vir

---

[31] *Bottom-Up*

[32] É importante que se destaque, no entanto, que as etapas de procedimentos citadas não se tratam de processos obrigatórios em análise de imagens baseadas em objetos. Porém, como possibilidade, foram procedimentos utilizados para a construção do presente modelo forjado no trabalho.

a contribuir de maneira decisiva para o estabelecimento de uma classificação que não leve em conta apenas em consideração atributos relacionados à características físicas dos objetos em relação a eles mesmos, mas sim a partir de relação qualitativas na interação destes múltiplos objetos.

> Nos últimos anos, a exploração de relações topológicas entre objetos no espaço, acabou por ser uma questão de pesquisa multidisciplinar, envolvendo disciplinas como inteligência artificial, sistemas CAD/CAM, ciência cognitiva, visão computacional, ciência da informação geográfica, banco de imagens, lin guística, psicologia, robótica, análise espacial, sistemas de banco de dados espaciais, e raciocínio espacial. (...). As relações topológicas como sobreposição, estar contido em, desconectados, ou coincidentes, descrevem propriedades puramente qualitativos que caracterizam as posições relativas dos objetos espaciais em direção uns dos outros e que são preservados sob certa transformações contínuas, incluindo todas as transformações afins. (Schenider e Berh, 2006, p.40)[33]

Quando, por exemplo, utilizamos o Modelo de 9-Interseções de Egenhofer e Herring (1991)[34], pode-se facilmente pensar múltiplas possibilidades em relação ao comportamento das relações topológicas entre os objetos analisados. O modelo estabelece basicamente 3 relações topológicas entre dois objetos (A e B), sendo elas o seu interior (representado pelo símbolo º), a sua fronteira (limite, representado pelo símbolo α) e o seu exterior (representado pelo símbolo -). Essas relações geram uma matriz na qual existem algumas interseções entre os interiores, entre as fronteiras e entre os exteriores (Reis et al., 2006) como pode ser visualizado na Figura .

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

[33] Tradução livre do trecho: "In recent years, the exploration of topological relationships between objects in space has turned out to be a multidisciplinary research issue involving disciplines like artificial intelligence, CAD/CAM systems, cognitive science, computer vision, geographical information science, image databases, linguistics, psychology, robotics, spatial analysis, spatial database systems, and spatial reasoning. (...) Topological relationships like *overlap*, *inside*, *disjoint*, or *meet* describe purely qualitative properties that characterize the relative positions of spatial objects toward each other and that are preserved under certain continuous transformations including all affine transformations".

[34] O modelo se diferencia da Matriz de 4 intersecções difere da Matriz de 9 interseções por não representar a relação topológica baseada no exterior dos objetos, tornando-se, desta maneira, uma matriz mais simplificada.

$$I_n(A,B) = \begin{pmatrix} A^\circ \cap B^\circ & A^\circ \cap \partial B & A^\circ \cap B^- \\ \partial A \cap B^\circ & \partial A \cap \partial B & \partial A \cap B^- \\ A^- \cap B^\circ & A^- \cap \partial B & A^- \cap B^- \end{pmatrix}$$

Figura 17: Matriz de relações topológicas
(Fonte: Reis et al., 2006)

Quando se busca o relacionamento, entretanto entre diferentes objetos espaciais, como por exemplo, pontos, linhas e polígonos, podem ser consideras diferenciadas tipologias (predicados) de relações, sendo elas: Igualdade, Disjunção, Interseção, Toque, Sobreposição, Cruzamento, Está contido e Contém. Conforme se pode perceber a partir da Tabela , a ocorrência entre pontos simples linhas simples e regiões simples contribui para a configuração de uma série de combinações (possibilidades) de interações topológicas entre os referidos elementos.

Tabela 2: Número de predicados topológicos entre dois objetos espaciais simples.

	Pontos Simples	Linhas Simples	Regiões Simples (Polígonos)
Pontos Simples	2	3	3
Linhas Simples	3	33	19
Regiões Simples	3	19	8

(Fonte: Schenider & Berh, 2006)

Pode-se perceber a partir da referida tabela, a existência de diferenciadas combinações entre dois tipos de representações vetoriais (objetos). Quando por exemplo, percebemos a relação entre dois pontos simples, apenas os predicados de Não-Igualdade ou Igualdade tornam-se possíveis. Quando se pensa, por exemplo, a relação entre pontos e regiões (simples), três situações tornam-se passíveis de serem percebidas, sendo elas: Não-Igualdade, Contidos, e Disjunto.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

Egenhofer e Mark (1995, apud Schenider E Berh, 2006, p. 46) apresentam a existência de 19 relações topológicas entre uma linha simples e uma região simples, o que demonstra a complexidade de interações entre objetos geográficos quando se começa a pensar nas múltiplas possibilidades quando se pensa os vetores complexos (conforme apresentado na Figura).

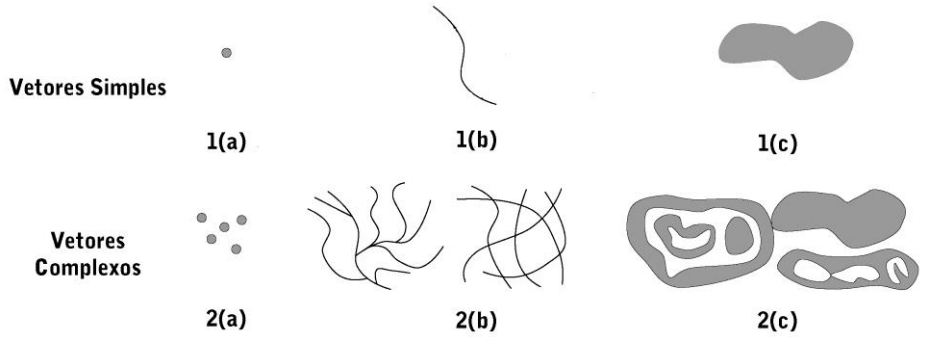

Figura 18: Possibilidades de correlação de vetores complexos e vetores simples.

Um dos maiores problemas para o trabalho de objetos espaciais é quando ocorre a ocorrência de espaços (buracos) no interior dos polígonos. Por conta do modelo não lidar com este tipo de situação, caso haja alguma situação na qual existam espaços dentro dos polígonos, cada um destes polígonos devem ser separados. Polígonos complexos com buracos (“holes”) implicam na existência de um exterior externo e um exterior interno (buraco em si), separados pelas fronteiras entre o interior do polígono e os espaços exteriores. De acordo com Egenhofer et al. (1994, apud, Chen et al., 2001), cada uma das regiões deveria ser separada em uma generalização do polígono e dos espaços. Desta forma, a análise seria realizada sobre a generalização de todos estes elementos.

Como visto, percebe-se que ir além da descrição da paisagem é fundamental para que o geógrafo passe a entender a dinâmica totalizante (a partir de uma visão que valorize a complexidade em detrimento da simplificação) do próprio movimento existente na transformação da paisagem. No entanto, a descrição desta paisagem não se torna algo a ser excluído e desvalorizado. Ao contrário, a descrição ganha novos sentidos e novos horizontes a partir de uma visão relacional dos objetos que compõe a paisagem.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

Em seu trabalho "Land Mosaics: the ecology of landscapes and regions", Forman (1995) apresenta a necessidade de se entender os padrões que se formam na paisagem (através de uma visão que parte de um mosaico de formas e funções), buscando também a aproximação destes padrões com uma visão que leve em consideração o exame dos processos e fenômenos da maneira mais próxima possível do próprio fenômeno.

Segundo Britaldo (1998), apoiado na leitura de Forman (1995), "numa paisagem, a textura ou padrão se expressa por um arranjo repetitivo, formado pelo mosaico de manchas e seus corredores dispostos em uma matriz de fundo". Assim a distribuição espacial dos objetos em determinado recorte e a sua consequente organização confluem para a caracterização da paisagem em si.

> A forma alternativa da heterogeneidade espacial é um mosaic, onde os objetos são agregados, formando limites distintos. Um mosaico de terra pode contar apenas manchas, ou pode conter também corredores. Nenhum mosaico espaguete contend apenas corredores são conhecidos. [35] (Forman, 1998, p.4).

Percebe-se desta maneira que a paisagem para os autores supra-citados são relacionadas a três estruturas básicas: manchas/blocos ("patches"), corredores e a matriz. De acordo com Britaldo (1998, p.32) a "mancha – retalho ou remendo (...) – pode ser definida como uma superfície não linear que difere em aparência de seu entorno. As manchas variam em tamanho, forma, heterogeneidade e características de borda". Já a definição de corredor de acordo com o mesmo autor (1998, p 39) estabelecea

> ligação entre os elementos de uma mesma classe (que) estabelece numa paisagem um fator de conectividade, função da configuração de redes, onde os corredores permitem o movimento e intercâmbio genético entre animais e plantas e as barreiras inibem tais trocas.

Por fim, a definição de matriz provém:

> (...) do conceito de conectividade, ou seja, da ligação das manchas via corredores, extrai-se ainda a noção de matriz. Como numa visão de fragmentos embebidos em uma massa, a matriz de uma paisagem pode ser definida como o seu elemento

[35] Tradução livre do trecho: ""The alternative form of spatial heterogeneity is a mosaic, where objects aggregated, forming distinct boundaries. A land mosaic may contain only patches, or may also contain corridors. No spaghetti-like mosaic of only corridors is known."

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

> mais extensivo e conectado e que possui o papel preponderamente no funcionamento da paisagem". (Britaldo, 1998, p.40)

Quando traduzimos esta discussão para a busca de um conhecimento geográfico com o intuito de estabelecer um modelo de classificação que pense e perceba as interações dos processos naturais também atrelados às atividades humanas, e que não parta única e exclusivamente de algumas características de borda e cor como apresentados anteriormente na figura 3, nos aproximamos de um entendimento relacional entre os objetos da paisagem. Ora, a partir da Figura podemos começar a pensar como os padrões (associados a determinados fenômenos) nos auxiliam a perceber a própria possibilidade de transformação da paisagem.

Quando se relaciona o tamanho do objeto em relação, por exemplo, ao fenômeno do efeito de borda sofrido pelos pacotes de vegetação circundados completamente por atividades humanas, entendemos que quanto maior o tamanho, menor é o efeito de borda causado pelo pacote como um todo. No entanto, quando se começa a pensar a forma do objeto em questão, quando mais alongado maior o impacto referente ao efeito de borda. Este tipo de percepção (associadas às manchas/blocos na visão de Forman) acaba por incrementar e possibilitar uma assinatura que não é mais espacial ou espectral do objeto de análise (a partir de uma visão cartográfica pura e simples), mas sim uma assinatura ambiental. No entanto, este exemplo é aplicado ao elemento das manchas.

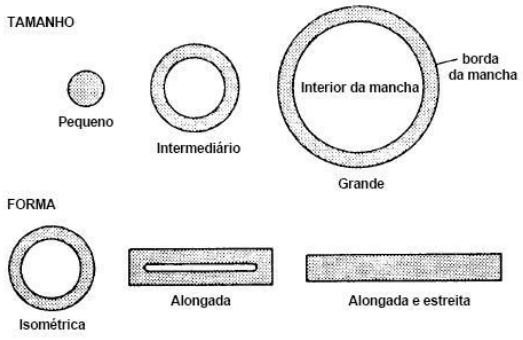

Figura 19: Diferentes relações de tamanho e forma do interior com o exterior.
(Fonte: Britaldo, 1998)

Outra importância associada à relação topológica entre diferenciados objetos geográficos e a busca por uma classificação de uso e cobertura do solo é

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

justamente a possibilidade de se abrirem possibilidades que permitam a discussão de usos diferenciados a partir de coberturas especificadas. Ora, um dos exemplos que se pode citar sobre tal relação é a discussão baseada entre a classe de cobertura vegetação que pode vir à ser requalificada como Parque (por exemplo, e desta maneira, representando um uso e não mais apenas cobertura), quando contextualizada e entendida no seu relacionamento com a área urbana em seu entorno.

4.3. Aplicações dos estudos de classificação automática

Quando nos debruçamos sobre as inúmeras contribuições acadêmicas existentes para o estabelecimento de diferentes metodologias de classificação de uso e cobertura do solo percebe-se que um dos maiores objetivos buscados pelos pesquisadores é o de responder à complexidade das classes analisadas até então. Ora, isto porque, ao mesmo tempo em que a melhoria da resolução espacial contribui para a simplificação do problema atrelado aos pixels misturados (ou seja, na medida em que os objetos são melhores escrutinizados), ele contribui de maneira decisiva para uma maior complexidade intraclasse, além de contribuir para a diminuição espectral da variabilidade entre diferentes classes (BRUZZONE, 2006).

Além desta complexidade insurgente, a partir do desenvolvimento tecnológico, também se apresenta a clara e manifesta necessidade de se desenvolver metodologias que contribuam para a extração rápida e eficiente da informação das imagens de satélite que por sua vez começam a se tornar cada vez mais disponíveis, seja pelo número crescente de sensores óticos, seja pela contínua necessidade de aquisição de imagens para responder as mais variadas questões.

> (...) visual image interpretation can be very time-consuming and automatic classification approaches proposed by research in the last few years still face some limitations. These limitations are no longer related to the coarse spatial resolution of the sensors, because for the last ten years imagery from several space-borne sensor systems with sub-meter spatial resolution have been available. (Novack et al., 2011, p. 2264)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

Um dos principais focos das pesquisas realizadas atualmente na área de análise orientada a objeto é relacionada com a questão urbana, como já apontado anteriormente. A contribuição do sensoriamento remoto para definir e fornecer dados aos diversos especialistas (geógrafos, arquitetos, engenheiros, entre outros) uma série de dados fundamentais para dar subsídio à análise de como pensar a dinâmica urbana (nos seus mais variados graus e cenários) torna-se fulcral para que se possa agir sobre o espaço geográfico. Assim, uma série de objetivos podem ser traçados quando pensamos tal problematização, como por exemplo: "extensão espacial e localização das áreas urbanas; distribuição espacial dos diferentes tipos de uso e cobertura do solo; redes de transporte e infra-estrutura relacionada; estatísticas associadas a censos" (Ribeiro & Kux, 2009, p.7894).

> O estudo e monitoramento do crescimento das áreas urbanas tornam-se difíceis e onerosos se realizados com técnicas convencionais de obtenção de dados, como levantamento de campo e levantamentos aerofotogramétricos tradicionais embora este último tenha tentado ajustar-se para tornar-se competitivo. A partir do lançamento dos satélites da série Landsat, os estudos urbanos contaram com uma nova ferramenta para obtenção de dados que proporciona repetitividade, visão sinótica e cobertura de áreas extensas. (Alves et al., 2009, p. 122)

Neste sentido, uma série de trabalhos é proposta para a interpretação da paisagem urbana, para que, a partir destas interpretações, diversificadas ações possam ser implementadas no território a partir do planejamento e entendimento da transformação desta paisagem.

Novack e Kux (2010) apresentam a aplicabilidade da classificação de imagem baseada no conhecimento humano, através do estabelecimento de uma rede semântica, na tentativa do estabelecimento de um modelo de classificação de cobertura e uso do solo que poderia ser aplicado pela agência de planejamento urbano da Prefeitura de São Paulo. Neste sentido, os autores constroem uma modelo de classificação baseado em uma estratégia definida por dois passos já apresentados: TD e BU.

Pinho et al. (2005) apresenta uma discussão metodológica sobre os procedimentos metodológicos necessários para a classificação de cobertura do solo urbano a partir da comparação entre a análise orientada a objetos e a análise baseada no pixel. Esta discussão apresentou ainda a estruturação de uma rede semântica e hierárquica dos diversos elementos constitutivos à cobertura do solo

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

do ambiente urbano, fundamentada a partir da definição dos descritores e classificação. Neste trabalho, percebeu-se a eficácia da análise orientada a objetos (quando comparada à análise baseada nos pixels) devido à possibilidade de utilização de uma série de elementos de interpretação visual baseados não apenas em informações espectrais, mas também na utilização de descritores espaciais (forma, tamanho, textura, padrão e contexto).

Alves et al. (2009) apresentam um estudo sobre a análise orientada a objeto a partir da utilização de imagens de alta resolução para a caracterização socioeconômica do espaço residencial construído. Neste trabalho, os autores apresentam a importância da análise orientada a objeto pela variabilidade de descritores[36] que estão associados às diferentes classes intra-urbanas levantadas.

É ainda importante destacar a subjetividade intrínseca ao trabalho do foto intérprete para a representação da realidade. Isto porque é ele quem vai ser sensível à caracterização e a diferenciação de cada uma das classes apresentadas. No caso do presente trabalho, por exemplo, com o intuito de diferenciar a classe baixa (1) e a classe média (1), devido às mesmas apresentem similaridades em relação ao tipo de cobertura que as caracterizavam (concreto escuro e cerâmica escura), foi necessário a geração entre um índice de vegetação (de perímetro e área) em cada lote para que fosse possível utilizar tal informação como descritor da classe. Evidentemente que poderiam ser utilizados outros descritores baseados em planos de informação auxiliares (como por exemplo, a utilização dos setores censitários) para contribuir para a geração de informação associada a estes mesmos lotes. No entanto, o índice de vegetação calculado se configura como uma relação topológica percebida na realidade local estudada.

Percebe-se assim claramente a importância assumida pela topologia no que concerne a análise orientada a objetos. A relação entre estes, principalmente, mas não só, a partir da caracterização de contexto destes mesmos objetos torna-se fundamental para que se pense a paisagem geográfica a partir de uma perspectiva complexa. Um trabalho que reforça os aspectos topológicos para o desenvolvimento de um sistema de classificação de imagens orientada por objeto

[36] Entendidos como o conjunto de atributos que são utilizados para a caracterização e descrição de cada classe.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

(baseado na existência de múltiplos níveis de segmentação) é o proposto por Bruzzone e Carlin (2006) que apresentam uma série de testes que contribuem para a discussão de como os objetos geográficos se comportam. Além disso, apresenta como o objeto gerado pela criação do nível pode ser trabalhado a partir de suas características espectrais e topológicas para a elaboração de uma classificação mais confiável. Exemplos destas relações podem ser percebidos quando os autores apresentam a importância das feições geométricas para a identificação de determinadas formas/classes (áreas rurais e edificações), sendo tais relações: proporção de largura para comprimento[37], índice de forma[38] e enquadramento retangular[39].

Ribeiro e Kux (2005), com o intuito de debater diferentes métodos de análise de expansão urbana para o mapeamento do uso do solo publicaram um artigo no qual são discutidas as vantagens e desvantagens de se trabalhar com a análise baseada no objeto, além de apontar a comparação deste método à análise baseada no pixel.

> Na análise de imagens orbitais de áreas urbanas toma-se como exemplo uma via com pavimentação de concreto cujas respostas espectrais são semelhantes às de uma edificação com cobertura de concreto: por meio da classificação orientada a objeto, os dois elementos podem ser separados em função de fatores como área e forma. Ainda que possuam dimensões semelhantes, essa mesma edificação pode ser separada de um estacionamento com pavimentação de concreto, por exemplo, recorrendo à análise da vizinhança, utilizando características da relação entre esses objetos de concreto e suas sombras projetadas no solo. (Ribeiro e Kux, 2005, p. 7895).

Os autores apresentam, apesar da importância e do aparente sucesso do método de análise baseado em objetos, a existência de algumas limitações para o modelo, sendo elas: a delimitação dos objetos alvo é limitada pela resolução espacial e espectral das imagens de sensoriamento remoto, a necessidade de gasto de tempo para a calibração dos parâmetros para o estudo de caso e a subjetividade existente (conforme já exposto anteriormente) para a definição dos parâmetros de segmentação.

---

[37] Pode ser calculado como a relação entre o comprimento e a largura da caixa delimitadora que contém o objeto sob investigação. (traduzido de Bruzzone & Carlin, 2006)

[38] Ele pode ser obtido pelo quociente do comprimento da fronteira do objeto sob análise e quatro vezes a raiz quadrada da sua área. (traduzido de Bruzzone & Carlin, 2006)

[39] Ele pode ser obtido como a razão entre a área não coberta por um retângulo com a mesma área e a proporção do objeto sob investigação e a área do objeto. (traduzido de Bruzzone & Carlin, 2006)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

Como visto até o presente momento, a classificação baseada na análise orientada a objetos encontra na questão urbana, uma forte área de atuação para o desenvolvimento de estudos. No entanto, não é apenas associada à área urbana que este método se torna aplicável. Atualmente, e também atrelado às questões de sustentabilidade ambiental, a proteção e identificação de espécies vegetais endêmicas, detecção de desmatamentos, planejamento e manejo de ecossistemas florestais, os problemas relacionados a catástrofes naturais entre outras, também vêm sendo respondidas e solucionadas com o auxílio do sensoriamento remoto. Desta maneira, inúmeros trabalhos têm se desenvolvido nesta área.

Ribeiro e Kux (2005) apresentam uma discussão sobre o mapeamento de estágios sucessionais baseado na análise orientada a objeto. Neste trabalho, os autores apresentam as potencialidades e dificuldades na identificação de variados estágios de sucessão no bioma Mata Atlântica. De acordo com os autores (2005, p. 7120), ainda "há uma significativa carência de técnicas que viabilizem a detecção dos diferentes estágios sucessionais da floresta, minimizando os dispendiosos esforços de campo, e a definição de indicadores que auxiliem na percepção de níveis de degradação em escalas de paisagem". Apesar dos resultados apresentarem a necessidade de um retrabalho (edição manual) em 21% das áreas classificadas (principalmente por problemas atrelados à influências de sombras, nuvens e a confusões associadas à classe pastagem), verifica-se um resultado que propicia uma maior otimização do tempo de mapeamento, se comparado com técnicas manuais de classificação. É importante destacar que os autores apresentam a necessidade de aprimoramento contínuo dos descritores das classes levantadas.

Outro trabalho que é desenvolvido no sentido de contribuir para a identificação de determinadas espécies (*Sclerolobium paniculatum* e *Mabea fi stulifera*) é o trabalho desenvolvido por Gomes et. al (2008). De acordo com os autores a importância da identificação de espécies a partir da utilização de imagens de alta resolução, e aí poderemos também introduzir a identificação de estruturas vegetacionais, torna-se fundamental devido aos esforços herculanos despendidos em trabalhos de campo. Além disto, apenas o trabalho de campo, utilizado como recurso metodológico, resulta, muitas das vezes em uma baixa

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA

cobertura de amostragem das espécies de interesse, a partir da área trabalhada. Entretanto, uma série de problemas pode ser analisada quando se tenta buscar a identificação de determinadas espécies através de imagens de satélite.

> A primeira dificuldade do estudo de copas de árvores de florestas tropicais está no delineamento das copas. Como as imagens de maior resolução incluem uma quantidade maior de detalhes, não só as copas do dossel superior são mais visíveis, mas também a interferência da refletância da vegetação do sub-bosque. Isto pode gerar dificuldades na separação das espécies de interesse na imagem daquelas que não têm interesse. Mais difícil ainda, é separar duas árvores próximas e que se tocam, já que a distinção entre duas copas é mais difícil do que a separação entre a copa e o fundo (Erickson, 2004, apud Gomes, 2008, p.37).

A partir do desenvolvimento de diferenciados testes (parâmetros escalares testados, ou seja, níveis de segmentação e variadas funções de pertinência), que se baseavam em informações de múltiplos planos de informação (mapa de potencial de distribuição de espécie, mapa binário de classe floresta e não floresta, imagens pancromáticas e multi-espectrais), verificou-se de maneira satisfatória, através do cálculo do coeficiente Kappa e por meio da matriz de confusão, a identificação das requeridas espécies.

É evidente, entretanto, que as discussões aqui apresentadas estão associadas à pesquisas especializadas no espaço urbano ou nas diferentes estruturas florestais. Entretanto, quando se pensa o espaço geográfico existe a necessidade de se pensar a co-existência e co-interação entre todos os elementos da paisagem. É neste sentido que se torna de extrema importância o estabelecimento de uma metodologia que priorize e estipule parâmetros que congreguem tais elementos, ainda que se estipule diferenciadas etapas para o desenvolvimento de cada uma delas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112011/CA