

A QUESTÃO DA ESCALA E SUAS RELAÇÕES COM O SENSORIAMENTO REMOTO

ANDRÉ AUGUSTO GAVLAK

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
gavlak@dsr.inpe.br

Resumo: O conceito de escala é relativamente simples se for apreciado unicamente pelo viés cartográfico, como uma transformação geométrica de semelhança, sem considerar aspectos relacionados à projeção ou à sua variação ao longo de uma área. Problemas, dúvidas e interpretações incoerentes podem sobrevir, a partir do instante que se estende esse conceito a outras áreas do conhecimento. Este trabalho apresenta algumas definições de escala, dando ênfase as questões voltadas para Escala de análise e suas relações com Sensoriamento Remoto.

Palavras chave: escala, efeitos de escala, padrões de análise, níveis de aquisição, sensoriamento remoto.

1. INTRODUÇÃO

Inúmeras atividades humanas possuem causas e conseqüências medidas em diferentes escalas, exigindo que os pesquisadores saibam trabalhar de forma coesa com esta questão em suas análises. A Escala é um dos principais conceitos de muitas ciências relacionadas com a atividade humana e processos físicos que ocorrem na superfície da Terra. Sobretudo, a literatura geográfica é rica em discussões sobre sua importância nas representações científicas do mundo todavia não sendo a única a tratar tal temática.

A Escala vem sendo reconhecida cada vez mais como um conceito central na descrição da organização hierárquica do mundo. Muitos problemas ambientais, como os impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas, requerem um entendimento de como os processos operam em diferentes escalas, e de como eles podem ser relacionados através delas.

As diversas áreas do conhecimento apresentam maneiras distintas de se apropriar de tal conceito, de aplicá-lo, e reconhecer seus benefícios e limitações. Desta feita, este trabalho foi elaborado através de uma revisão bibliográfica sobre esta discussão e tem por objetivo *conceituar* de forma sucinta Escala e outros termos relevantes, apresentando como algumas ciências lidam com essa questão, e explorar brevemente como o Sensoriamento Remoto e Escala estão relacionados.

2. DESENVOLVIMENTO

A Escala em diversas áreas do conhecimento

A importância da escala vem sendo reconhecida pelas ciências que estudam as atividades humanas e os processos físicos na Terra por mais de quatro décadas. A variabilidade em resultados estatísticos originada pelo uso de diferentes escalas ou níveis de agregação foi demonstrada já em 1934 por Gehlke e Biehl. Vinte anos depois, McCarthy et al. (1956) mostrou que conclusões derivadas de uma escala são específicas desta, e não se deve esperar que sejam válidas em outra. Nos anos 1950, ecólogos estavam conscientes da existência de escalas ideais em que cada padrão da paisagem era exposto e nas quais processos ecológicos podiam ser determinados (GREIG-SMITH, 1952). A partir daí, uma gama considerável de produtos literários foi sendo e ainda é publicada por geógrafos (ARBIA, 1989), ecologistas da paisagem (TURNER et al., 1989) geomorfólogos (CLARK, 1990), hidrólogos (BLÖSCHL; SAVAPALAN, 1995), climatologistas (RAUPACH; FINNIGAN, 1995) e especialistas em Sensoriamento Remoto (QUATTROCHI; GOODCHILD, 1997; MARCEAU e HAY, 1999, MARCEAU, 1999). Essa breve narrativa histórica está contida no artigo de Marceau (1999), no qual se discute a questão da escala tanto nas ciências naturais, quanto nas sociais.

A primeira definição para Escala, e também a mais conhecida, é dada pela conotação cartográfica, onde ela nada mais é do que uma razão de semelhança entre as medidas em um mapa e as medidas no mundo real. Pode ser vista como a alteração geométrica mais importante pela qual as informações geográficas são submetidas, sendo que todas as demais transformações terão alguma relação com esse processo (MENEZES; NETO, 2009).

Além da simples aplicação cartográfica, o termo Escala é também usado para se referir às dimensões espaciais, temporais, quantitativas ou analíticas, usadas por cientistas para mensurar e estudar objetos e processos. A escala representa a janela da percepção, a habilidade de observação, e reflete a limitação do conhecimento com que um fenômeno pode ser visto ou percebido. Já o termo Nível, por outro lado, fazem alusão a locais ao longo da escala (QUATTROCHI; GOODCHILD, 1997).

Goodchild e Quattrochi (1997) afirmam que uma completa ciência da Escala deve considerar os seguintes componentes básicos sobre a questão: 1) O papel da escala na detecção de padrões e processos, e seu impacto na modelagem; 2) A identificação dos domínios (limites) da escala e seus pontos iniciais; 3) Ajuste de escala e implementações de abordagens multiescalares para análise e modelagem.

Embora uma definição incontestável para o conceito de escala ainda não exista, diversos conceitos úteis são fornecidos na literatura. Gibson et al. (2000) afirma que os geógrafos, além de trabalharem com o que eles chamam de escalas locais e globais, também consideram três tipos de escala que envolvem diferentes relacionamentos: absoluta, relativa e conceitual. Marceau (1999) declara que uma escala absoluta existe independentemente dos objetos ou processos estudados. A cartografia convencional, sensoriamento remoto e geoprocessamento usam escalas absolutas, usualmente baseadas num sistema de grade, que permite definir a localização do objeto e medir seu tamanho. A escala relativa é particularmente importante em estudos de geografia comportamental, que enfoca a percepção individual do espaço. A escala conceitual é aquela a qual, com base em conhecimento específico, cada área do conhecimento julga ser a mais adequada para resolver seus problemas.

Escala se tornou cada vez mais importante para os ecologistas com o crescimento da Ecologia da Paisagem, que busca investigar o relacionamento entre processos ecológicos e padrões espaciais, as interações encontradas entre unidades espaciais adjacentes e as causas e efeitos da heterogeneidade espacial. É de comum acordo que a identificação de padrões depende da Escala espacial utilizada na análise. Um padrão detectado que é relativamente homogêneo numa escala com resolução grosseira pode desaparecer quando uma resolução mais fina é aplicada, ou vice e versa. Essas discrepâncias podem levar a diferentes conclusões nos processos de monitoramento e previsão de fenômenos (EVANS et al., 2002).

As ciências econômicas desenvolveram duas teorias distintas: a micro analítica e a macro analítica. Micro teorias tendem a examinar os incentivos e dificuldades financeiras de produtores, distribuidores, varejistas e consumidores e como eles se inserem nas diversas estruturas do mercado. Macroeconomistas estudam fenômenos econômicos em larga escala, como o modo em que várias forças econômicas afetam as taxas/índices e os investimentos em nível nacional, sendo que poucos economistas tentam atrelar estas duas escalas teóricas (GIBSON et al, 2000).

Enquanto o significado de escala varia através (e dentro) das disciplinas, pode-se notar que existem pontos em comum dentro desses diferentes significados. Geógrafos, urbanistas, sociólogos, economistas, entre outros consideram que estudar a questão de escala é de suma importância para a fidelidade de suas pesquisas. Este interesse tem crescido paralelamente às questões que emergem a cerca da influência antrópica nas mudanças ambientais globais, criando assim parâmetros mais rigorosos para a identificação de problemas e elaboração de soluções adequadas.

A Escala e o Sensoriamento Remoto

O avanço da tecnologia do Sensoriamento Remoto no século XX forneceu meios poderosos para se conduzir inúmeras pesquisas regionais e globais, pois permite acessar rapidamente uma ampla área da superfície terrestre, obtendo informações espaciais em tempo real e provendo uma maneira efetiva para análises de recursos naturais, monitoramento ambiental e previsão de desastres.

Atualmente, como o Sensoriamento Remoto tem apresentado um caráter quantitativo em suas análises, as questões sobre escala tem tomado lugar de destaque dentro dos mais diversos âmbitos desta ciência. Um exemplo simples citado por WU e LI (2009) é que a maioria dos modelos e algoritmos são basicamente gerados para grandes escalas, implicando que a superfície terrestre é homogênea. Se estes mesmos algoritmos forem usados em escalas menores, eles produzirão diversos erros.

No contexto do Sensoriamento Remoto, Woodcock e Strahler (1987) afirmam que a Escala corresponde à Resolução Espacial, ou seja, se refere à habilidade do sensor de gravar e exibir determinados objetos com detalhes espaciais finos de forma separada de outros ao seu redor. Mais corretamente, a Escala em Sensoriamento Remoto é dada em função do *Instantaneous Field of View* (IFOV) do sistema, que representa a área do terreno projetada pelo detector num dado momento (JENSEN, 2009)

Diferentes sensores possuem diferentes IFOVs que correspondem a distintas resoluções espaciais. Além disso, a escala na qual os dados disponíveis foram medidos é geralmente dessemelhante da escala requerida pelos modelos. Diversos fatores como mão-de-obra, custos, tempo e outros recursos compõem a escolha da Escala. Por exemplo, rodar determinados modelos pode levar muito tempo, mesmo com um computador de alta performance. Se isto se tornar uma limitação, uma escala maior pode ser mais adequada (WU e LI, 2009)

Woodcock and Strahler (1987) concluíram que a escolha da Escala apropriada depende de três fatores principais: a informação de saída desejada sobre a cena imageada; os métodos usados para se extrair a informação da imagem; e a própria estrutura espacial da cena.

A fim de elucidar tais apontamentos, pode-se comparar o trabalho de Reis et al (2007) com o de Carvalho et al (2009). O primeiro propõe uma metodologia de contagem automática de árvores (*Eucalyptus spp*), em uma área de 637 hectares, através de uma imagem adquirida

em um sobrevôo em 2004. Já o segundo, realizou um monitoramento da flora nativa e dos reflorestamentos para todo o Estado de Minas Gerais, através de imagens do sensor TM do LANDSAT-5. Estes dois trabalhos apresentam o mesmo tema de estudo (Florestas Nativas e/ou reflorestadas), porém lançam mão de diferentes escalas de análise e níveis de coleta de dados, e conseqüentemente, os dados de saída são completamente diferentes.

Moody and Woodcock (1995) conduziram uma análise de regressão multivariada para avaliar os relacionamentos entre padrões espaciais da paisagem e os erros nas estimativas das proporções do tipo de cobertura, considerando como os dados de cobertura da terra são agregados em escalas mais grosseiras. Eles mostraram que a proporção de erro é governada pela interação entre as características espaciais da paisagem e pela agregação da escala.

Com os avanços das pesquisas sobre escala, descobriu-se que os fatores dominantes que afetam os processos mudam com a escala adotada. Marceau e Hay (1999) mostraram que os resultados de Índice de Vegetação de Diferença Normalizado (NDVI) variam em conformidade com a escala. Esta variação é principalmente afetada na escala local pela orientação topográfica quando a resolução é mais fina, pois ela mostra o efeito da radiação solar da vegetação em áreas de relevo acidentado. Quando a resolução se torna mais grosseira, o NDVI sofre menos interferências destes fatores.

Paralelo ao conceito de Escala, deve-se dar destaque os termos “Agregação” (*Up-scaling*), “Desagregação” (*Down-scaling*) e “Efeito de Escala”. O termo *Scaling* é definido basicamente como a transferência de informação através de diferentes escalas. Agregação é o processo de transferir informação de uma escala para uma outra maior. Relaciona-se à extração de parâmetros globais através de medidas locais. Já Desagregação, é exatamente o oposto, ou seja, obter informações para uma escala através de dados angariados numa escala maior (WU e LI, 2009). O Efeito de Escala refere-se ao contraste da informação ou às suas diferentes características em diferentes escalas. Por exemplo, a produção estimada de uma plantação pelo sensor TM (*Thematic Mapper*) e pelo AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) é significativamente diferente, pois possuem distintas resoluções espaciais, e conseqüentemente escalas.

Openshaw (1984, apud MARCEAU; HAY, 1999) propôs a teoria “*Modifiable Areal Unit Problem - MAUP*” (problema da unidade de área modificável), que é o fenômeno que retrata a inter-relação entre a área de estudo e o resultado mensurado. Nesse caso, mudanças na escala e nas dimensões da unidade de análise podem levar a conclusões diferentes. O MAUP é dividido em dois problemas separados: o problema da escala (ou agregação) e o problema do zoneamento. O problema da escala refere-se à sensibilidade dos resultados

devido a diferentes níveis de agregação (e.g. dados municipais versus dados estaduais de um mesmo fenômeno). O problema de zoneamento, por sua vez, diz respeito à sensibilidade dos resultados devido a combinações alternativas das regiões, dada uma escala espacial (ou nível geográfico). Padrões espaciais são dependentes da escala. Estes padrões podem parecer um *cluster* numa escala, ou fenômenos aleatórios em outra. Dentro deste contexto, o Sensoriamento Remoto pode ser pensado como uma caso particular de MAUP.

Níveis de aquisição de dados

A altitude do sensor em relação à superfície imageada é um fator de grande interferência, não só na intensidade e qualidade do sinal, como nas formas de registros e análise dos dados, e está completamente relacionada à Escala de trabalho adotada. A altitude do sensor em relação ao alvo, ou seja, a distância alvo-sensor define o que se convencionou chamar de nível de aquisição de dados, existindo basicamente três: Laboratório/Campo, de aeronave e orbital.

O nível de laboratório/campo trabalha com porções reduzidas dos alvos e estuda-se seu comportamento espectral, quase sem interferência de fatores ambientais. A área analisada por este método é reduzida e pode-se obter a curva espectral do objeto a partir de radiômetros. A medida em que um sensor é colocado mais distante do objeto de interesse, sua caracterização espectral torna-se mais complexa, pois em laboratório é possível fixar variáveis como: ângulo de incidência, potência do fluxo incidente; e ainda, à medida em que aumenta a altitude do sensor em relação ao alvo a camada atmosférica também aumenta (NOVO, 2008).

Apesar da aquisição de dados de sensoriamento remoto em nível de laboratório ser importante para melhor extração de informações sobre as propriedades do objeto, para grande parte das aplicações, é necessária uma cobertura extensa do terreno. Daí a vantagens do SR em nível de aeronave e orbital.

No nível de aeronave, a energia registrada pelo sensor não se refere a um determinado objeto mais sim a um arranjo de objetos da cena. Alguns podem ser identificados individualmente por sua configuração. Neste nível podem ser obtidas imagens fotográficas aéreas em preto e branco, coloridas e em diferentes escalas (NOVO, 2008).

Considera-se a aquisição de dados de sensoriamento remoto em nível orbital, quando realizada através de equipamentos sensores abordo de satélites artificiais. Neste nível os satélites transmitem os dados por ondas de rádio, das quais se extraem dados e imagens que por sua vez são armazenados em meios magnéticos (fitas), óticos (CDs) e em papel. Do ponto

de vista da aquisição regular o aspecto multitemporal e multiespectral, das informações em nível orbital é mais eficiente do que em nível de aeronave.

Essas diferenças de níveis de aquisição de dados determinam diferenças nas formas de análise dos dados e, conseqüentemente, no nível de informação deles derivada (NOVO, 2008).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É fato que a Escala é um conceito crucial na descrição da estrutura hierárquica dos fenômenos que se manifestam em nosso planeta. Sem duvidas, o sensoriamento remoto irá avançar ainda mais no que se refere a pesquisas envolvendo tal discussão.

Ao se revisar as principais literaturas a respeito da questão, pode-se concluir que não há um método universal de escolha de escala. Cada uma das diferentes abordagens tem seus problemas e limitações, mas também são capazes de prover a possibilidade de solução para os problemas, assim como compensar os efeitos de escala.

A disponibilidade atual de dados multiescalares e multitemporais de Sensoriamento Remoto, e sua integração com Sistemas de Informações Geográficas, principalmente para monitoramento das mudanças globais, remete a algumas questões elementares como qual resolução espacial é mais adequada para medir tal fenômeno ou imagens de qual período de tempo serão utilizadas, sendo que as melhores réplicas para estas só podem ser deparadas por meio de pesquisas e estudos sobre a questão da escala.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, L.M.T. et al. Monitoramento da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais entre 2005 e 2007. In. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, INPE, p. 2653-2660, 2009.

EVANS, T.P. et al. Scaling Issues With Social Data in Integrated Assessment Modeling. **Integrated Assessment**, v. 3, p. 135-150, 2002.

GIBSON, C.L.; OSTROM, E.; AHN, T.K. The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. **Ecological Economics**, v. 32, p. 217-239, 2000.

GOODCHILD, M.F. Metrics of scale in remote sensing and GIS. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 3, p. 114-12, 2001

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente. Uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, Editora Parentêse, 2009.

JU, J.T.; GOPAL, S.; KOLACZYK, E.D. On the choice of spatial and categorical scale in remote sensing land cover classification. **Remote Sensing of Environment**, v. 96, p. 62–77, 2005.

MARCEAU, D.J. The scale issue in social and natural sciences. **Canadian Journal of Remote Sens.** v. 25, p. 347-356, 1999.

MARCEAU, D.J.; HAY, G.J. Remote Sensing contributions to the scale issue. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 357-366, 1999.

MENEZES, P.M.L.; NETO, A.L.C. **Escala: estudo de conceitos e aplicações**, 2009. Disponível em www.geocart.igeo.ufrj.br/pdf/trabalhos/Escala_Conceitos_Aplic.pdf. Acesso: 02/05/2009

NOVO, E.M, de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2008

QUATTROCHI, D.A.; GOODCHILD, M.F. **Scale in remote sensing and GIS**. CRC Press, 1997.

REIS, F.P. et al. Utilização de imagens de sensoriamento remoto de alta resolução para realizar a contagem de copas em povoamento de Eucalyptus spp. In. **IX Brazilian Symposium on GeoInformatics**, Campos do Jordão, Brazil, p. 221-226, 2007.

SHEPPARD, E.; MCMASTER, R. B. **Scale and geographic inquiry: Nature, Society and Method**. Wiley-Blackwell, 2004.

WOODCOCK, C. E.; STRAHLER A.H. The Factor of Scale in Remote Sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 21, p. 311-332, 1987.

WU, H.; LI, Z. Scale Issues in Remote Sensing: A Review on Analysis, Processing and Modeling. **Sensors**, vol. 9, p. 1768-1793, 2009.