

PREFÁCIO

Este livro deve ser entendido como um guia sobre o tema da análise de paisagens por meio de métodos da geoinformática. Trata-se de uma tentativa de apresentar o estado atual da pesquisa ao público das áreas de Geografia, Ecologia de Paisagens, Biologia e disciplinas afins, bem como aos planejadores e tomadores de decisões. Para isso, “Análise da Paisagem com SIG” concentra-se na aplicação de medidas de áreas e de bordas em estruturas da paisagem, visando quantificar, analisar e avaliar dados espaciais poligonais e lineares. Tais dados podem provir das mais diferentes origens, como interpretação visual de fotografias aéreas, classificação multiespectral de imagens de satélite, análise automática baseada em objetos de dados de *scanner* digital, mapeamentos de campo etc. Refletem, na maioria dos casos, delimitações da área de unidades ecológicas relevantes e, assim sendo, geralmente não representam unidades administrativas. Em primeiro plano está a caracterização concreta da estrutura espacial de uma seção da paisagem, em combinação com os aspectos funcionais relevantes, especialmente do ponto de vista da ecologia.

A presente obra não pode ter por objetivo tratar de todas as fórmulas e valores medidos, até agora discutidos quase que taxonomicamente. Para tanto, ver a bibliografia especializada, em particular os periódicos internacionais (p.ex., *Landscape Ecology*, *Ecological Modelling*, *Landscape and Urban Planning* etc.). Trata-se aqui de transmitir um sistema lógico, quais são os grupos de valores medidos, como esses valores poderão ser aplicados sensatamente e onde, no âmbito de uma aplicação operacional, existem limitações.

“Análise da Paisagem com SIG” tem, assim, os seguintes objetivos:

- fornecer uma visão de conjunto sobre a concepção de estrutura da paisagem, suas formas de trabalho e especificidades, o conhecimento das suas raízes disciplinares/históricas e as influências das disciplinas correlatas;

- ◎ permitir avaliar o potencial da Tecnologia de Informação Geográfica para a descrição do estado, análise e planejamento das paisagens e de sua estrutura espacial;
- ◎ propagar uma utilização sensata das medidas da estrutura da paisagem e submetê-las a uma avaliação crítica, aplicando os procedimentos usuais da prática do planejamento.

Neste parágrafo, queremos agradecer a todos aqueles que participaram direta ou indiretamente na elaboração deste livro. Auxiliares e estagiários do Centro de Geoinformática (Z_GIS) da Universidade de Salzburg (Áustria): à Dra. Elisabeth Schöpfer pelo apoio gráfico no preparo das ilustrações; à estudante de Geografia Lena Pernkopf pela leitura de correção dos originais e avaliação dos exercícios; ao estudante de Geografia Daniel Hölbling pela ajuda na formatação. Além disso, nosso agradecimento a todos os participantes do curso compacto UNIGIS que nos últimos anos cursaram esse módulo e fizeram a sua crítica. Eles forneceram um *feedback* construtivo e muitas sugestões de melhorias em relação à discussão geral, bem como concepções de soluções para tarefas e trabalhos de exercícios, o que contribuiu para uma gradual melhora de qualidade. Também queremos expressar nosso agradecimento a todos do Grupo de Trabalho LARG (*Landscape Analysis and Resource Management Research Group*), que, ao longo dos últimos anos, contribuíram com valiosas discussões, bem como trabalharam conosco em publicações conjuntas nesse setor.

Como representante da comunidade de pesquisas de idioma alemão, ressaltamos especialmente a participação do Dr. Ulrich Walz, que, como coordenador do Grupo de Trabalho “Estrutura da Paisagem” da IALE (*International Association for Landscape Ecology*) alemã, junto com outros membros ativos desse grupo de trabalho, contribuiu decisivamente para a divulgação da concepção apresentada, na área de ocorrência do idioma alemão. Agradecemos ao Sr. Heiner Nagel, da Secretaria Estadual do Meio Ambiente, Estado de Sachsen-Anhalt, por disponibilizar os dados usados nos exercícios. Finalmente agradecemos à Dra. Nadja Kneissler, da Editora Ulmer, que possibilitou a publicação deste livro e teve muita indulgência e paciência ao longo desse processo.

Salzburg (Áustria), Junho de 2005.

ESTRUTURA DO LIVRO

“Análise da Paisagem com SIG” divide-se em três partes principais (ver Fig. A). Na primeira parte (Caps. 1 e 2), introduzimos o tema, ressaltando a motivação que o envolve, seu contexto e pano de fundo, e nos referimos às possibilidades específicas de Sistemas de Informações Geográficas que nos parecem fundamentais nesse contexto. Por meio de estudos de caso, pretendemos demonstrar em quais áreas de aplicação podem ser usadas medidas de estrutura de paisagens. Além disso, consideramos também o aspecto legal propiciado por um quadro nacional e internacional para a aplicação de tais métodos quantitativos. No Cap. 2, discutimos alguns dos aspectos centrais do processamento de informações geográficas. Nele são apresentadas algumas considerações metodológicas e de concepção necessárias para o entendimento das colocações feitas nas segunda e terceira partes.

A segunda parte (Cap. 3 a 10) constitui a porção principal do livro. Nela fornecemos, inicialmente (Cap. 3 a 6), resultados fundamentais da pesquisa da teoria da paisagem, especialmente da área conceitual da teoria dos sistemas. Consideram-se especialmente aqueles conceitos que valem para a concepção apresentada neste livro, designada concepção de trabalho de estrutura da paisagem, detalhada no Cap. 4. Apresentamos o desenvolvimento e a evolução do trabalho da medição de estrutura da paisagem, quais são os seus objetivos e qual é o conjunto de metodologias que ela disponibiliza. Essa primeira seção é também dedicada a questões metodológicas sobre como as unidades básicas necessárias – que denominamos *patches* – podem ser delimitadas, e como podemos finalmente discretizar e representar em computador paisagens complexas, que se caracterizam por transições contínuas (Cap. 5). No Cap. 6 referimo-nos à questão central do procedimento específico de organismos. A segunda seção descreve detalhadamente possíveis métricas, considerando-se uma aproximação sistemática. Além de algumas observações gerais sobre o tema de medidas da estrutura de paisa-

gens (Cap. 7), são apresentadas as camadas (*layers*) individuais, que permitem fornecer dados sobre métricas. Dessa forma, apresentam-se o nível das manchas (Cap. 8), das classes (Cap. 10) e de toda a paisagem de pesquisa (Cap. 9). O nível das classes, que reproduz essencialmente a configuração das manchas, não deve ser separado de conceitos de ecologia. Por isso, consideraremos especialmente as configurações do hábitat.

A terceira parte do livro (Caps. 11 e 12) está voltada ao posterior contexto de aplicação no planejamento e monitoramento. Aqui pretendemos realçar o potencial das medições de estrutura da paisagem, resultante das opções abertas pela quantificação. Por outro lado, também são feitas observações críticas em relação à utilização responsável e assegurada cientificamente dos dados de medições.

As seções com fundo cinza (boxes) apresentam um detalhamento maior de tópicos do assunto tratado. O conteúdo apresentado nos boxes não é necessário para o entendimento imediato do assunto restante; porém, o leitor interessado é encorajado a explorar essas seções, visto que complementam as imagens do livro e aprofundam o entendimento do assunto. A Fig. A abaixo resume a estrutura do livro.

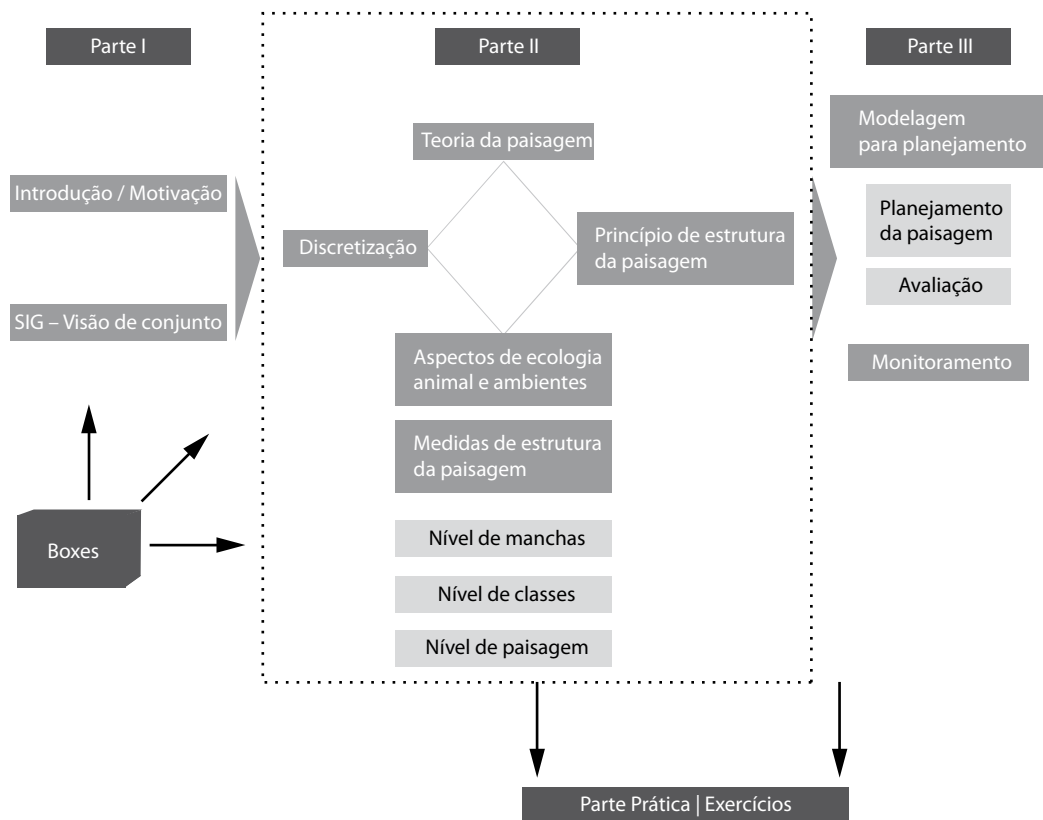


Fig. A Estrutura de “Análise da Paisagem com SIG”

de cálculo de tabelas, os campos podem ser ordenados de modo ascendente ou descendente e os registros serem selecionados (ver seção 2.6).

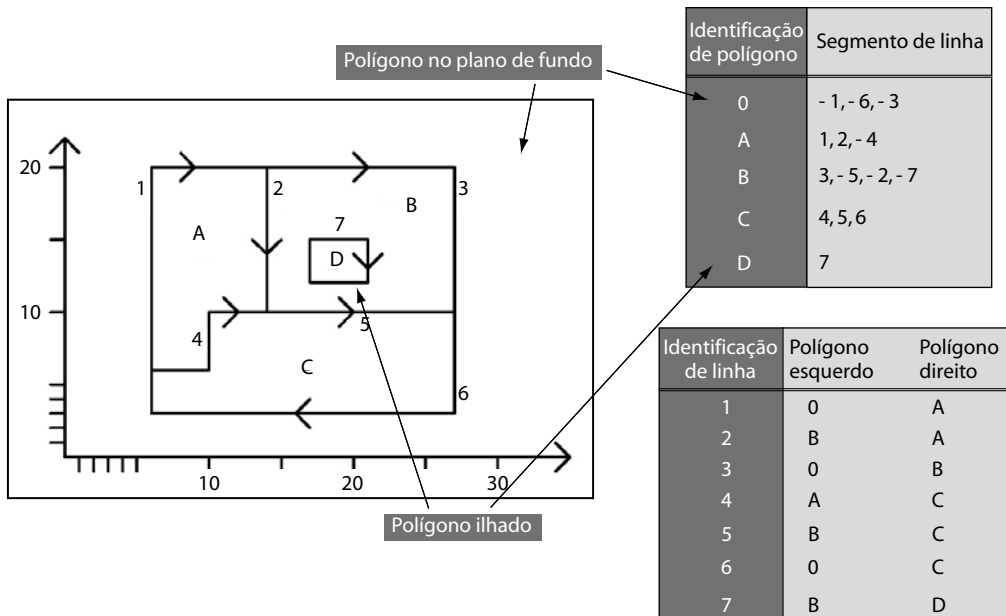


Fig. 2.7 Modelo de dados topológico a partir do exemplo de um conjunto de dados de um polígono

Para gerenciar os dados de atributos, ArcView/ArcGIS usam o formato dbase (*.dbf). Dessa forma, dados de atributos podem ser usados diretamente em outros programas de cálculo de tabelas, como Excel, ou programas de análise estatística, como o SPSS. Os dados de atributos podem ser carregados separadamente, porém são logicamente associados com dados de geometria, por meio do nome do arquivo (é necessário o mesmo nome do arquivo). Um *Shapefile* completo constitui-se finalmente de (1) dados de geometria (*.shp), (2) dados temáticos (*.dbf) e (3) um arquivo para a associação (*.shx). No caso de dados *raster*, os valores de células correspondem às manifestações de um atributo (Fig. 2.8).

2.3.2 DADOS RASTER E DADOS DE IMAGEM

No modelo *raster*, a área de estudo é dividida em pequenas células (*tesselation*), sendo que a divisão das células ocorre regularmente, com poucas exceções (na maioria das vezes, na forma de quadrados mínimos). Esse modelo serve para a representação de fenômenos espaciais com ocorrência contínua. Trata-se de fenômenos que, em princípio, podem assumir um outro valor no espaço. Exemplos: a distribuição de substâncias tóxicas, altitude do terreno sobre o nível do

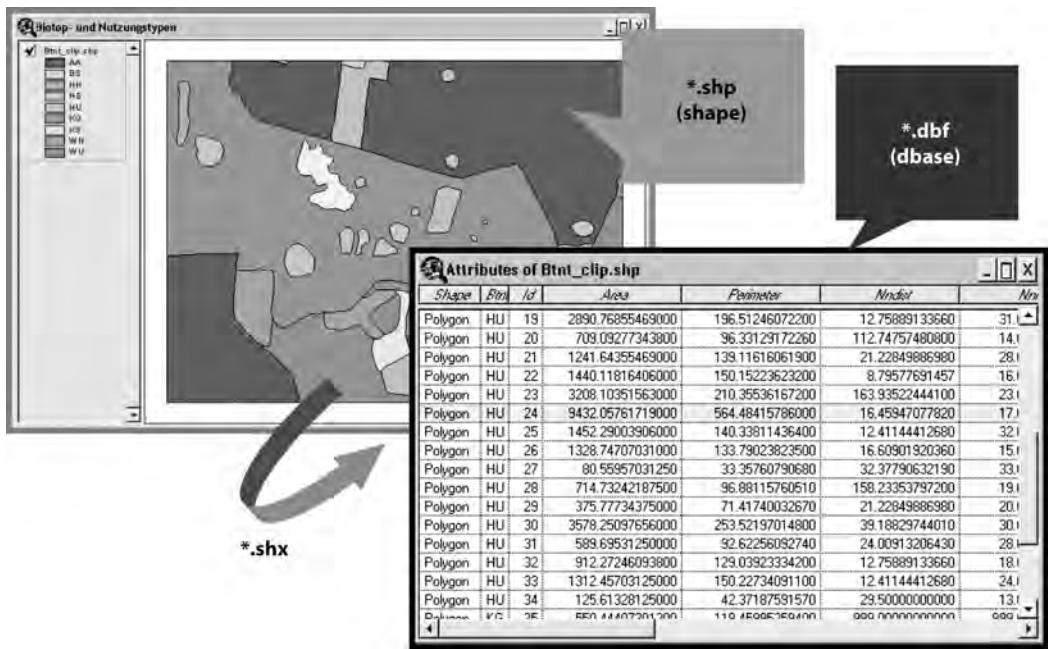


Fig. 2.8 Componentes de um Shapefile

mar, valor de pH do solo. Considerando que os contínuos espaciais não podem ser detectados por medições a 1:1, o estabelecimento de dados *raster* ocorre em bases amostrais (*samples*). Aqui a distribuição dos pontos de apoio obtidos por meio de medições pode ser difundida regularmente (rede de medições; p.ex., geodésia regional) ou irregularmente (p.ex., medição de poluentes). Para a geração de superfícies são usados diferentes procedimentos de interpolação. Esta se baseia no princípio geral da autocorrelação espacial, o que significa que pontos espacialmente próximos apresentam valores semelhantes (1ª Lei da Geografia por Waldo Tobler). O conceito de área aqui deve ser entendido no sentido geral. Assim, p.ex., valores de resistência na paisagem (*landscape resistance*; ver seção 6.4) podem ser utilizados com essa finalidade para modelar as possibilidades de interações entre (partes) de populações separadas numa metapopulação e, assim, não tornar o comportamento da migração dependente somente da distância euclidiana entre os habitats (Lang, 2000; ver seção 11.3.5).

A partir do aspecto geométrico, os dados *raster* são determinados por alguns poucos parâmetros (Fig. 2.9). O **formato GRID**, p.ex., é definido por três parâmetros, a saber: pela especificação das coordenadas de origem (*origin*), pelo tamanho do *raster* (*resolution, cell size*) e pelo número de linhas e colunas (*extent*). Além disso, é definido um valor *NoData*. Considerando que um conjunto de dados *raster* está sempre submetido a um corte retangular, frequentemente há setores onde não existem valores (p.ex., num modelo digital de terreno fora das fronteiras de um país). Tais setores são codificados com “NoData”. Cuidado,

fia e Geodésia (*Bundesamt für Kartographie und Geodäsie*), em Frankfurt/Main. Aqui, diferentes grupos de produtos são diferenciados. O principal produto, o Modelo Digital da Paisagem, baseado em vetores, tem como tarefa “dividir a paisagem segundo pontos de vista essencialmente topográficos e classificar as feições topográficas e características da paisagem” (BKG, 2005). As feições a serem discriminadas, que são designadas objetos da paisagem ou simplesmente “objetos”, estão listadas no catálogo-base de objetos ATKIS. Esse catálogo divide-se em setores e subsetores de objetos, nos quais os tipos de objetos estão ordenados como instâncias. Os seis setores de objetos são:

- ⊙ **(SIE)** Assentamento (**SIE01** até **SIE07**) – 66 instâncias (tipos de objetos)
- ⊙ **(VER)** Tráfego (**VER01** até **VER06**) – 29 instâncias
- ⊙ **(VEG)** Vegetação (**VEG01** até **VEG06**) – 17 instâncias
- ⊙ **(GEW)** Corpos hídricos (rios e lagoas) (**GEW01** até **GEW03**) – 18 instâncias
- ⊙ **(GEB)** regiões administrativas (**GEB01** até **GEB08**) – 22 instâncias
- ⊙ **(REL)** formas de relevo (**REL01**) – 5 instâncias

Cada objeto da paisagem está associado, ainda, por meio de atributos adicionais e de suas relações com outros objetos. Um objeto pode ser determinado inequivocamente, em toda a Alemanha, por meio de uma ID, de modo que a cada objeto topográfico corresponda um DLM (sigla de *Digitales Landschaftsmodell*, modelo digital da paisagem – n.d.t.). Outros produtos são o Modelo Digital de Terreno da Alemanha (DGM-D), com uma resolução de 25 m, dividido em quadrados de 40 km x 40 km, bem como o Mapa Topográfico Digital (DTK), que reproduz os conteúdos do mapa topográfico em camadas de informação no formato *raster*.

Conjuntos de dados topográficos podem fornecer valiosas contribuições na disponibilização de informações sobre infraestrutura (estradas e caminhos) ou corpos d’água (rios, lagos), ou também para o preparo de uma máscara de assentamentos ou floresta. Do ponto de vista ecológico, esse tipo de informação, como fonte única de informação, frequentemente não é satisfatório, visto que, do ponto de vista temático, é fortemente agregado. Além disso, precisa ficar esclarecido que conjuntos de dados topográficos não necessariamente equivalem a informações de cobertura da terra.

5.1.2 DIVISÕES ECOLÓGICAS DO ESPAÇO

A seguir, trataremos do grupo de divisões ecológicas, ou seja, da primeira categoria mencionada. No setor dos mapeamentos da paisagem, podemos usar camadas de dados digitais individuais dos compartimentos da paisagem como medida de proteção dos dados. Em parte, tais compartimentos já se encon-

tram nas camadas (*layers*) de dados topográficos já descritos anteriormente, utilizáveis para diversas finalidades de planejamento. Para camadas de dados dos outros compartimentos, como mapas de solos ou mapas de clima digitais, já existem diversos portais de rede (*web*). O mapa de solos digital eBOD (ver <<http://bfw.ac.at/ebod/ebod.main>> [jun. 2005] é uma aplicação em rede que foi desenvolvida pelo Centro Federal Austríaco de Pesquisa e Formação para Florestas, Perigos Naturais e Paisagem (BFW). Ele constitui parte do Serviço de Mapas em Rede (ver <<http://geoinfo.lfrz.at>>). O eBOD (Fig. 5.2) apresenta a distribuição dos tipos de solos, bem como perfis de solo e pontos escolhidos (indicados por pequenos retículos). No Serviço de Mapas em Rede também se encontram outros mapas digitais, como, p.ex., camadas de dados hidroclimáticos ou o inventário de áreas úmidas da Áustria. Mesmo temas críticos, tais como as regiões de utilizações agrícolas no projeto Natura 2000, são representados espacialmente de forma explícita.

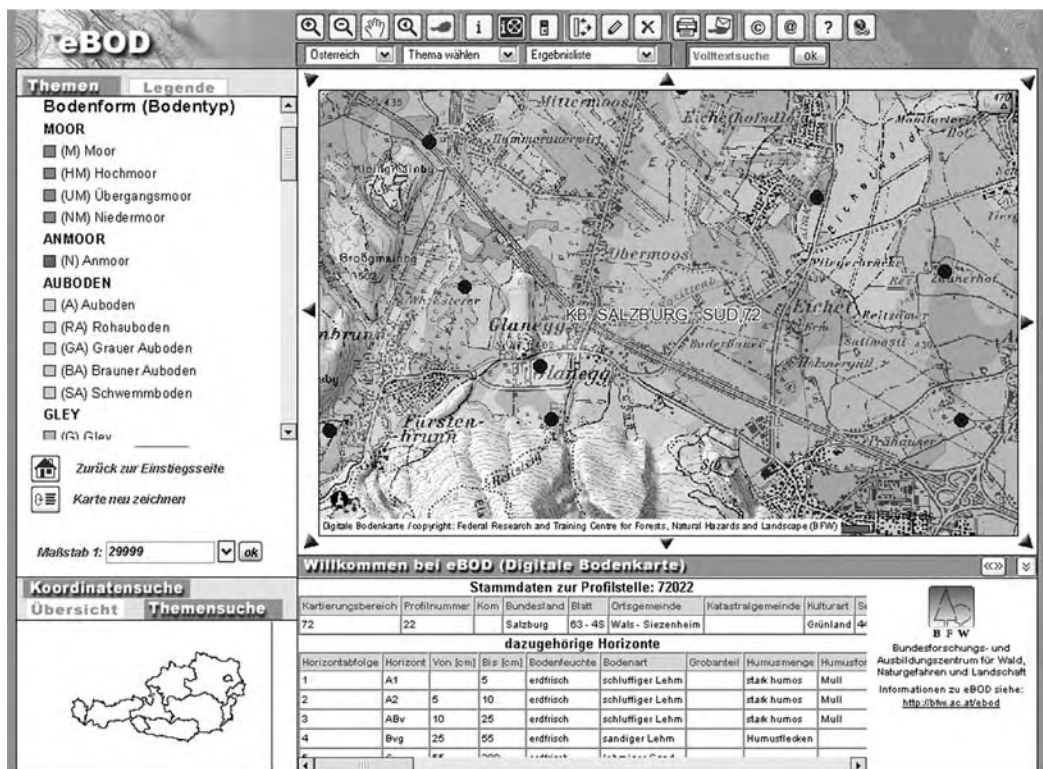


Fig. 5.2 Recorte do mapa de solos digital eBOD

Um postulado frequentemente exigido para divisões de espaço em ecologia de paisagens é, no entanto, uma aproximação integradora e holística (ver Dollinger, 2002). Por isso, o processamento paralelo das camadas de dados indivi-

8 ANÁLISE DESCRITIVA NO NÍVEL DE MANCHAS (*PATCHES*)

No decurso dos capítulos seguintes, discutiremos os principais grupos de medidas da estrutura da paisagem e, paralelamente, ressaltaremos também o contexto específico de aplicação. Concentramo-nos inicialmente nas métricas no nível de manchas. Essas medidas devem ser ordenadas às categorias de métricas relativas a áreas, formas, bordas e áreas-núcleo. Algumas observações gerais já foram apresentadas, no capítulo anterior, no Quadro 7.1. Na leitura dos próximos capítulos e subcapítulos, sugerimos retornar a esse quadro e à apresentação da visão de conjunto.

8.1 MÉTRICAS RELATIVAS A ÁREAS

Área (*patch size, area*) é a medida da estrutura da paisagem mais próxima e mais difundida e, por isso, talvez a mais importante. Muitas outras medidas são construídas direta ou indiretamente sobre ela (Forman; Godron, 1986; Forman, 1995). Assim, p.ex., métricas que determinam a composição de uma paisagem (ver seção 9.1) baseiam-se, essencialmente, na porcentagem de área das classes individuais na paisagem. A área total de uma classe é a soma de todas as áreas de manchas de uma determinada classe numa paisagem. A posição central do atributo espacial “área” deve ser considerada inteiramente relacionada à sua grande importância na ecologia. Trata-se aqui, p.ex., do número potencialmente maior de indivíduos e espécies com o aumento da área, ou mesmo da demanda de área para determinadas espécies (ver seção 6.3).

Em ambos os modelos de dados básicos (*raster* e vetorial), as áreas são calculadas de modo diferente. No modelo de dados *raster*, a área corresponde ao número de células com um determinado valor, especialmente relacionadas (Fig. 8.1). Aqui precisa ser observado o conceito subjacente de vizinhança. A vizinhança de 4 é definida por meio dos contatos ortogonais com as 4 células vizinhas. Na vizinhança de 8, incluem-se também os contatos diagonais. Isso resulta em oito vizinhos por célula.

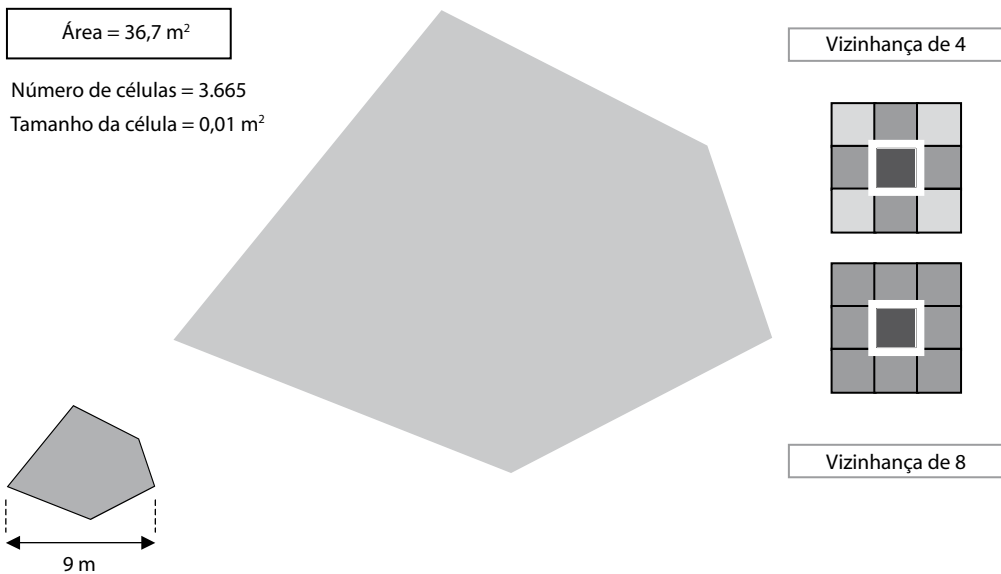


Fig. 8.1 Cálculo da área de uma mancha no modelo raster (à esquerda); conceito da vizinhança de 4 e 8 (à direita)

No modelo vetorial, a área de um polígono é calculada pela subdivisão do conteúdo do polígono em formas geométricas básicas. No caso mais simples, trata-se de triângulos construídos da origem para os pontos de apoio do polígono (Fig. 8.2). A área do polígono corresponde, então, à soma desses triângulos, subtraindo-se a área do último triângulo (triângulo A, E, O na Fig. 8.2). O cálculo é efetuado conforme a seguinte fórmula (Eq. 8.1):

$$AREA = 0,5 \cdot \sum (x_{i+1} - x_i)(y_{i+1} + y_i) \quad (\text{Eq. 8.1})$$

onde: x e y – coordenadas do i -ésimo ponto de apoio do polígono.

No caso de recortes ou de processamentos manuais de conjuntos de dados poligonais, deve-se lembrar que a área é novamente calculada. No modelo de dados original ArcInfo *coverage* (ver seção 2.3.1), a área constitui um atributo obrigatório. Esse atributo, nas funções de recorte ou editoração, é automaticamente considerado. Atualmente, no entanto, utiliza-se com frequência o formato *Shapefile*, no qual é responsabilidade do usuário calcular novamente a área. Para tanto, estão disponíveis linhas de comando, ou seja, há uma documentação disponível. Assim, no ArcView 3, a área de um polígono pode ser calculada simplesmente no *Field Calculator*, por meio do comando [Shape].ReturnArea. Para o perímetro vale: [Shape].ReturnLength. Tanto nas ampliações de programação V-LATE (ArcGIS) e *Proximity Analysis* como no software de aprendizagem IMT,