



Capítulo 8

Tecnologias da informação aplicadas aos dados geoespaciais

Júlio César Dalla Mora Esquerdo
Sérgio Aparecido Braga Cruz
Carla Geovana do Nascimento Macário
João Francisco Gonçalves Antunes
João dos Santos Vila da Silva
Alexandre Camargo Coutinho

1 Introdução

A dimensão espacial permeia, direta ou indiretamente, uma série de temas relacionados ao agrogêncio, sendo um fator essencial que deve sempre ser considerado nas diferentes atividades de pesquisa nos mais variados domínios. A avaliação de riscos climáticos, o levantamento, a caracterização e o monitoramento de recursos naturais, o mapeamento do uso e cobertura da terra, as análises socioeconômicas, os zoneamentos e a avaliação de cenários são alguns exemplos de atividades nas quais a pesquisa geoespacial é fundamental. A análise de dados geoespaciais, produzidos a partir das geotecnologias, pode ser vista como uma das etapas de um processo de diagnóstico científico que, a partir da formulação de um problema, define um plano de execução, orienta a coleta e a integração de dados relevantes, define estratégias de análise e dá suporte para a compreensão de fenômenos naturais ou antrópicos e a tomadas de decisão.

Nesse cenário, há uma gama de dados geoespaciais produzidos por diferentes técnicas e propósitos, e por distintos perfis de usuários. Existe um aumento sem precedentes na produção e na disponibilidade de tais dados, provenientes da maior quantidade de dispositivos sensores, pela adoção cada vez maior de padrões para representação de dados geoespaciais que viabilizam o seu compartilhamento, e pelo número crescente de dispositivos móveis que favorecem a coleta georreferenciada dos mais diferentes tipos de dados. Além do enorme volume de informações, o contexto atual na produção destes dados georreferenciados é caracterizado pela velocidade em que eles são produzidos e pela sua redundância.

Em contrapartida a esse crescimento da quantidade de dados, a sua capacidade de tratamento e análise integrada permanece associada a paradigmas caracterizados pela baixa escalabilidade, baixas capacidades de reúso e repetição, representados por soluções apoiadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) de uso local ou soluções para geoprocessamento individuais. No contexto do tratamento de dados geoespaciais, esse cenário gera impactos importantes, uma vez que esses dados são a base para o desenvolvimento e a integração de diferentes pesquisas multidisciplinares.

A necessidade de tratamento eficiente desse volume de dados geoespaciais tem promovido uma mudança no paradigma na construção de aplicações científicas, incentivando o surgimento de novas plataformas e ferramentas caracterizadas pela capacidade de processamento intensivo de dados e escalabilidade dinâmica. Novas soluções para a construção de aplicações em geopro-

cessamento, apoiadas em novas tecnologias e modelos de desenvolvimento, têm sido exploradas com o objetivo de atender a essa demanda crescente por geoprocessamento, buscando maior produtividade, associada à facilidade de uso, agilidade na obtenção de resultados e qualidade dos produtos.

Considerando essas novas tendências, este capítulo trata das Tecnologias da Informação aplicadas aos dados geoespaciais, com o objetivo de definir alguns dos principais conceitos abordados nesse tema e apresentar aspectos gerais das tecnologias envolvidas. São apresentados, também, exemplos de iniciativas da Embrapa Informática Agropecuária no desenvolvimento de soluções voltadas à organização, ao compartilhamento e ao tratamento das informações geográficas produzidas pela empresa em seus projetos de pesquisa e de serviços.

2 Dados geoespaciais e geotecnologias

Nos últimos anos, termos como *geoprocessamento*, *geotecnologia*, *geoinformação*, *dado geográfico*, *dado geoespacial* e *geodado* têm sido cada vez mais utilizados e referenciados, não apenas pelos estudiosos do assunto, como também por um público crescente de usuários de informações e ferramentas geográficas, nem sempre familiarizados com seus significados. Entre os fatores que têm estimulado a popularização desses termos estão a facilidade de acesso aos dados geoespaciais e a programas computacionais que permitem sua visualização e análise; a disponibilização de serviços geoespaciais em que os usuários podem realizar consultas específicas a partir de um navegador da internet; o crescente uso dos dispositivos móveis, como smartphones e tablets, munidos de equipamentos de localização por satélite e acesso à internet; entre outros. Esses termos podem ser compreendidos a partir do esquema da Figura 1.

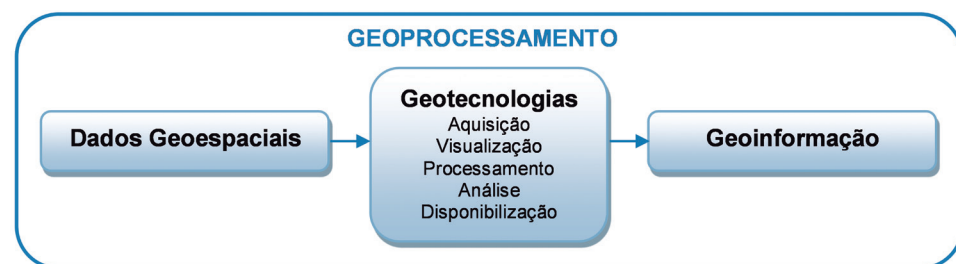


Figura 1. Esquema conceitual do geoprocessamento.

É importante caracterizar esses termos. Dados geoespaciais, também denominados dados geográficos, pertencem a uma classe particular de dados espaciais, uma vez que eles descrevem fatos, objetos e fenômenos do globo terrestre associados à sua localização sobre a superfície terrestre, num certo instante ou período de tempo (CÂMARA et al., 1996). Os dados geoespaciais se distinguem essencialmente dos demais pela sua componente espacial, que associa a cada entidade ou fenômeno, uma localização traduzida por um sistema geodésico de referência terrestre.

O processo de aquisição, visualização, processamento, análise e/ou disponibilização de dados geoespaciais é realizado a partir de uma categoria especial de tecnologia, denominada geotecnologia. Neste contexto, tecnologias como o sensoriamento remoto, o *Global Positioning System* (GPS), a topografia, os Sistemas de Informações Geográficas, os bancos de dados geográficos,

entre outras, são classificadas como geotecnologias. Quando uma informação geoespacial é derivada de uma ou mais geotecnologias, ela é denominada geoinformação ou geodado. Por fim, o processo de aplicação de uma ou mais geotecnologias para adquirir, processar, visualizar, analisar e/ou disponibilizar dados espacialmente referenciados, com o intuito de gerar geoinformação, é denominado geoprocessamento.

2.1 O GPS

Entre as geotecnologias de aquisição dos dados geoespaciais está o GPS. O GPS, também conhecido por *Navigation System for Timing and Range* (Navstar), foi idealizado na década de 70 pelo Departamento de Defesa norte-americano, mas tornou-se totalmente operacional somente em 1995. Trata-se de uma constelação de satélites dispostos em órbitas específicas que fornece a um aparelho receptor sua posição geográfica em qualquer parte do planeta. Seu uso para fins civis se intensificou a partir do ano 2000, quando a “disponibilidade seletiva”, artifício que intencionalmente degradava o sinal para usos não militares, foi desativada, reduzindo os erros de posicionamento. Apesar de não ser o único sistema de posicionamento global - existem também o Galileu (europeu), Glonass (russo) e BeiDou (chinês) - o GPS é o sistema utilizado pela maior parte dos receptores. Com a redução do custo desses equipamentos, eles estão presentes em um número cada vez maior de dispositivos móveis, como telefones celulares, tablets e relógios. A presença do GPS e das redes de acesso à Internet nos dispositivos móveis tem provocado uma revolução tecnológica, trazendo uma série de benefícios aos seus usuários. Nas grandes cidades, já é comum o uso de aplicativos em dispositivos móveis desenvolvidos para as pessoas localizarem o táxi mais próximo e solicitar uma corrida, possibilitando ao passageiro a visualização de informações detalhadas sobre o veículo, bem como um perfil com foto e avaliações do taxista que pretende chamar. Existe ainda uma gama de aplicativos que, em conjunto com as informações de localização geográficas providas pelo GPS e das informações das redes móveis de Internet, auxiliam as pessoas a encontrar a melhor rota para escapar do trânsito, o posto de gasolina mais próximo para abastecer o seu veículo, a localização de uma pizzaria nas redondezas, etc.

2.2. O sensoriamento remoto

Outra geotecnologia de aquisição de dados geoespaciais é o sensoriamento remoto, que pode ser entendido como um processo de obtenção de imagens e dados da superfície terrestre por meio da captação e registro da energia eletromagnética refletida ou emitida pela superfície, sem que haja contato físico entre o elemento sensor e o alvo. O sensoriamento remoto pode se dar nos níveis terrestre, suborbital e orbital, sendo esse último o mais comum, onde os sensores imageadores ficam a bordo de satélites em altitudes que variam de 400 a 36.000 km. Existe um conjunto de princípios físicos que define uma base teórica necessária ao entendimento das imagens de satélite, as quais não podem ser meramente chamadas de “fotografias”, uma vez que são obtidas a partir de sensores, denominados radiômetros, capazes de captar a energia refletida e/ou emitida pela superfície terrestre em diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético, não apenas no visível.

Uma imagem de satélite é oriunda de sensores que apresentam quatro tipos de resolução:

- Espacial, que define o tamanho do pixel da imagem e que representa a capacidade do sensor distinguir objetos.
- Temporal, relacionada ao tempo de revisita do sensor a um mesmo local na superfície terrestre.

- c) Espectral, que define as larguras e quantidades de faixas espectrais que o sensor é capaz de “enxergar”; e
- d) Radiométrica, relacionada à capacidade do sensor em distinguir diferentes níveis digitais, ou seja, a eficiência do sistema em detectar e registrar diferenças na energia refletida e/ou emitida pelos elementos.

Atualmente existe uma gama de produtos oriundos do sensoriamento remoto orbital, com as mais variadas resoluções espectral, temporal, radiométrica e espacial, cuja utilidade depende de sua aplicação. Por exemplo, satélites meteorológicos, como o *Geostationary Operational Environmental Satellite* (Goes) e o *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), apresentam baixa resolução espacial (4,0 km e 1,0 km, respectivamente), mas oferecem altíssima resolução temporal (15 minutos e 12 horas, respectivamente). Tais características fazem todo o sentido quando o objetivo é monitorar o deslocamento de nuvens ou estimar a presença de frentes frias e massas de ar quente em escala continental, fenômenos que demandam pouco detalhamento espacial, mas alta periodicidade de informações. Por outro lado, se o objetivo é monitorar, por exemplo, mudanças do uso e ocupação da terra em uma cidade ou identificar focos de desflorestamento na Amazônia, essas imagens terão pouca utilidade. Para esses outros casos, devem ser utilizadas imagens provenientes de sensores com maior detalhamento espacial que, em alguns casos, chega a níveis submétricos; em contrapartida, sua periodicidade é menor, chegando a dias ou até semanas.

As primeiras pesquisas envolvendo o uso das imagens de satélites no monitoramento de recursos naturais terrestres ocorreram na década de 70, sobretudo a partir do programa *Resources Technology Satellite* (ERTS), que em 1975 passou a se chamar Landsat. Trata-se do programa mais bem sucedido de desenvolvimento de satélites de observação de recursos naturais terrestres, implementado pela *National Aeronautics and Space Administration* (Nasa), e em operação até hoje com o Landsat-8, lançado em fevereiro de 2013. Atualmente, as pesquisas envolvendo o uso de imagens de satélite encontram-se em um patamar científico elevado, não só pela diversidade de dados, mas principalmente pela política de disseminação e compartilhamento livre dessas informações pela internet, o que estimula seu uso nas mais variadas áreas do conhecimento. O Brasil foi um dos precursores dessa política de liberação de imagens, pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), que desenvolveu um catálogo de imagens com mecanismos de buscas simples, com o objetivo de disseminar e estimular o uso das imagens do satélite CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), fruto da parceria técnico-institucional com a China. Outros exemplos dessa política podem ser encontrados em repositórios dos Estados Unidos, como no caso da gama de produtos pré-processados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (Modis), e no caso das imagens do programa Landsat. Também são encontrados repositórios da Comunidade Europeia, como no caso de alguns produtos derivados do programa *Satellite Pour l’Observation de la Terre* (Spot).

Uma das tecnologias responsáveis pela popularização do sensoriamento remoto é o Google Earth, um programa de computador desenvolvido e distribuído pela Google, cuja função é apresentar um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de um mosaico de imagens de satélite obtidas de diversas fontes, em diversas resoluções. Apesar de não ter sido o pioneiro neste tipo de serviço (o primeiro foi o Nasa World Wind), o Google Earth está em constante evolução, levando aos usuários um conjunto de inovações nunca antes vista, que inclui

atualizações regulares da base de imagens, a integração com outras bases cartográficas e outras funcionalidades.

2.3. O Sistema de Informações Geográficas

Considerando as geotecnologias para visualização, análise e tratamento dos dados geoespaciais, destacam-se os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), cujo nome vem do termo em inglês *Geographic Information System* (GIS). Existem diversas definições sobre o que são SIGs, desde as mais complexas às mais simples. Pires et al. (1994) definem SIG como um sistema que realiza o tratamento computacional de dados geoespaciais, armazenando, gerenciando e recuperando informações. Estes sistemas são muito utilizados em ambientes de decisão, provendo aos usuários facilidades de combinar as informações de uma determinada região. A principal diferença entre um SIG e um sistema de informação convencional é sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos dos dados, quanto as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos. As principais características de SIGs são: inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais textuais e outras fontes de dados como imagens de satélite e dados de GPS; e oferecer mecanismos para combinar as várias informações, por meio de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados geográficos.

Do ponto de vista computacional, os dados geoespaciais podem ser representados dentro de um SIG a partir de dois modelos principais: o vetorial e o matricial (também chamado raster). No modelo vetorial, a apresentação de um elemento ou objeto é uma tentativa de reproduzi-lo da forma mais precisa possível do ponto de vista geométrico. Neste tipo de representação, qualquer entidade ou elemento gráfico de um mapa é reduzido a três formas básicas: pontos, linhas e polígonos. Já o modelo de representação matricial consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado. A cada célula, atribui-se um código referente ao atributo estudado, de tal forma que o computador saiba a que elemento ou objeto pertence determinada célula (CÂMARA et al., 2001). A Figura 2 ilustra como uma área do mundo real pode ser representada a partir dos modelos vetorial e matricial.

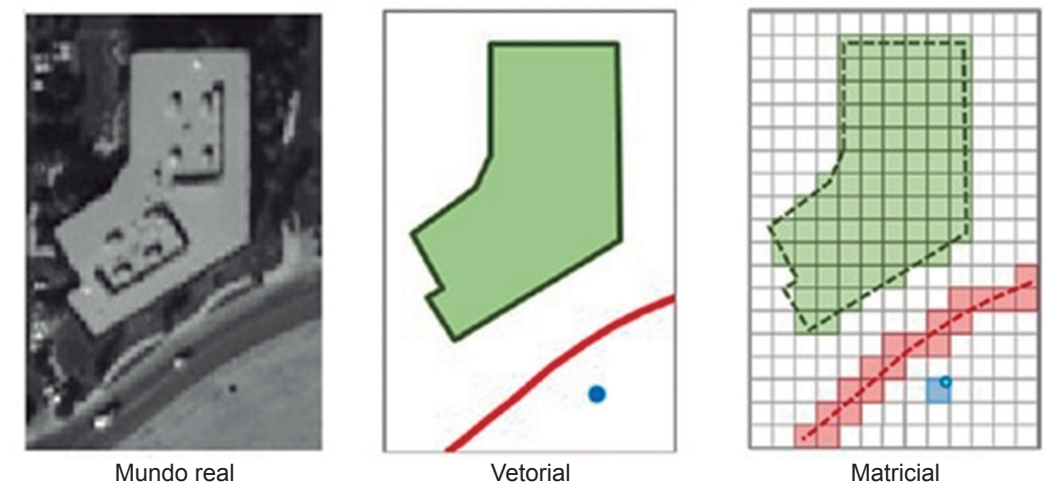


Figura 2. O mundo real e sua representação computacional a partir dos modelos vetorial e matricial.

Fonte: Adaptado de Satar (2014).

A abordagem tradicionalmente utilizada para a organização de dados geoespaciais em um SIG é a distribuição em camadas, também denominadas *layers* ou planos de informação, em que cada nível aborda um tema distinto para uma dada região geográfica (Figura 3). Por exemplo, uma imagem de satélite de uma região é uma camada, assim como os municípios desta região, a sua geomorfologia e sua hidrologia. Cada camada é representada internamente usando estruturas lógicas próprias de cada SIG e é armazenada em arquivos distintos, de acordo com o formato do sistema utilizado.

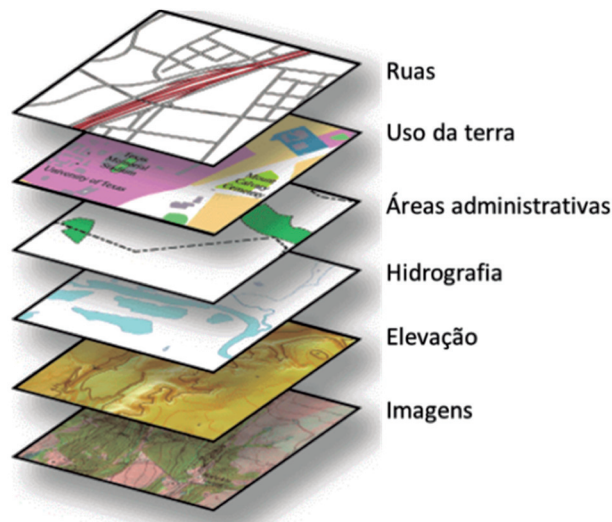


Figura 3. Representação das camadas de temas em um SIG.

Fonte: Adaptado de ArcGIS Resources (2014).

3 Organização e disponibilização dos dados geoespaciais

3.1 Características dos dados geoespaciais

Dados geoespaciais possuem três características fundamentais: espaciais, não-espaciais e temporais. As características espaciais informam a posição geográfica do fenômeno e a sua geometria, correspondendo à pergunta “onde?”. As não-espaciais descrevem o fenômeno e suas propriedades e informam sobre o “como?”. Por fim, as características temporais informam o tempo de validade do dado e suas variações ao longo do tempo e dizem respeito ao “quando”.

O dado geoespacial, por suas características, apresenta propriedades topológicas e geométricas. As topológicas são baseadas nas posições relativas dos objetos no espaço, como conectividade, orientação, adjacência e contenção. Já as geométricas são propriedades métricas que representam a geometria das entidades, obtidas a partir de suas feições geométricas primitivas, como pontos, linhas e polígonos. Considerando essas propriedades, é possível definir as relações entre dados geoespaciais, que são essenciais nas aplicações geográficas. É por meio delas que são executadas operações importantes como, por exemplo, o cálculo de distância entre pontos, a definição da área de um talhão agrícola, a localização de estradas que cruzam um determinado município, a identificação das cidades de um estado por onde passa um rio, entre outros.

As principais relações possíveis entre dados geoespaciais são: topológica, métrica e de distância, orientação, ordem e *fuzzy*. As relações topológicas são aquelas que descrevem os conceitos

de vizinhança, incidência, sobreposição, mantendo-se invariante ante a transformações, como escala e rotação. Os relacionamentos métricos e de distância consideram distâncias e direções, expressando a métrica das feições com referência a um sistema de coordenadas. Relações de orientação ou direcionais descrevem a orientação no espaço, como norte e sul, e relações de ordem são relativas à ordem total ou parcial dos objetos espaciais, como em frente a, atrás de, acima e abaixo. Por fim, tem-se as *fuzzy*, que envolve termos que não são claramente entendidos como relacionamentos padrão. Exemplos: próximo a, perto, longe, na região de. Todos os relacionamentos são importantes para o tratamento, análise e uso da informação geoespacial. No entanto, dentre todos os relacionamentos, os topológicos são os mais usados.

3.2 Os bancos de dados geoespaciais

Para que a informação geográfica seja tratada usando um computador, é necessária a sua representação computacional, ou seja, a adoção de estruturas e arquivos que representem essa informação no mundo computacional. Por exemplo, como representar uma determinada área florestal que está sendo alvo de desflorestamento? Diferentemente dos dados tradicionais, constituídos basicamente de atributos descritivos como nome, data e descrição, a representação de um dado geoespacial requer, também, a descrição de sua forma geométrica associada à sua posição geográfica. Assim, usando os relacionamentos espaciais, torna-se possível executar diferentes análises considerando as características espaciais dos elementos envolvidos. No exemplo citado, a área florestal poderia ser representada por um polígono e as áreas desflorestadas por outros polígonos menores. Uma relação de “está contido” indicaria quais, dentre várias áreas identificadas, fazem parte da área original. Nesse caso, atributos temporais permitiriam a manutenção de um histórico das áreas.

Para que esses dados sejam manipulados, é necessário o seu armazenamento em estruturas adequadas. Surge então o conceito de Banco de Dados Geográficos, que nada mais é do que um banco de dados que manipula dados geoespaciais. Em um banco de dados geográficos, os dados são georreferenciados, analisados por meio de operações espaciais e, geralmente, sua visualização é cartográfica. Assim como em bancos de dados tradicionais, existem, disponíveis, os Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) com extensão para dados geográficos. A maior vantagem da adoção desses sistemas é que eles implementam os tipos e operadores espaciais, além das outras funcionalidades de um SGBD, como independência de dados e acesso eficiente; compartilhamento de dados e redução de redundância; integridade de dados e segurança; administração uniforme de dados; desenvolvimento de aplicações em tempo reduzido e acesso concorrente. Tudo isso facilita a tarefa do desenvolvedor de sistema de informação geográfica. As principais extensões para dados geográficos são DB2 Spatial Extender (IBM CORPORATION, 2014a), Informix Spatial (IBM CORPORATION, 2014b), OracleSpatial (ORACLE CORPORATION, 2014) e PostGIS (POSTGIS PROJECT STEERING COMMITTEE, 2014).

A maioria dos sistemas em uso trata principalmente de dados vetoriais, oferecendo meios de armazenamento e operações para sua manipulação. No entanto, muitos dados geoespaciais são disponibilizados em formato matricial, como as imagens de satélite; neste sentido, extensões para manipulação desse tipo de dado têm sido apresentadas. Um exemplo é a extensão *Raster Well-Known Text (WKT)* do PostGIS, que possibilita armazenar e analisar os dados matriciais, promovendo avanços em seu uso.

O banco de dados geoespaciais é considerado parte de um SIG, sendo responsável por prover funcionalidades de armazenamento e de manipulação dos dados. A Figura 4 ilustra a arquitetura de um SIG. Nela, os dados são armazenados num banco de dados geográficos, que é gerenciado por um SGBD-geográfico. O usuário acessa os dados via uma interface gráfica e as operações disponíveis para ele tradicionalmente são: entrada e integração de dados; consulta e análise espacial desses dados, por meio dos relacionamentos espaciais; e visualização dos dados e dos resultados das análises na forma de mapas.

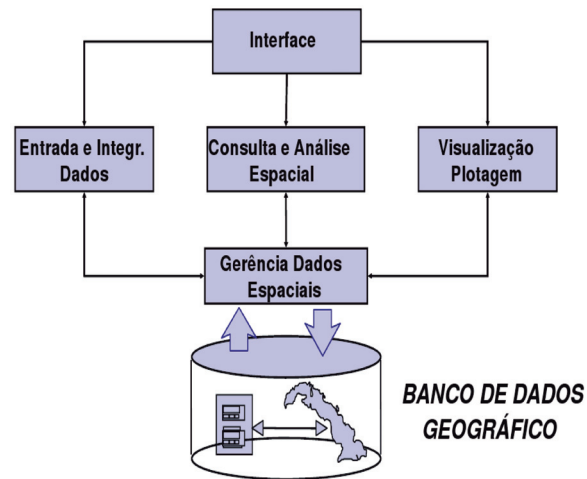


Figura 4. Arquitetura de um SIG.
Fonte: Casanova et al. (2005).

3.3 Padrões e compartilhamento de dados geoespaciais

Com o aumento de sua capacidade de transmissão de dados, a *World Wide Web* (WWW) está se tornando cada vez mais o principal meio de troca de informações, incluindo os níveis pessoal, corporativo, governamental e acadêmico. Neste cenário, problemas relacionados à baixa eficiência no acesso, ao armazenamento e ao uso dos dados compartilhados se tornam cada vez mais relevantes e são resultado de vários fatores. A produção dos dados em ambientes computacionais heterogêneos, com diferentes propósitos e modelos da realidade, resultam em dados expressos em diferentes formatos, e com diferentes semânticas. As dificuldades de compartilhamento e uso efetivo dos dados nestas condições definem o problema de interoperabilidade de dados (STUCKENSCHMIDT; HARMELEN, 2004). O consórcio *Open Geospatial Consortium* (OGC) (OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM, 2014) vem realizando esforços para superação deste problema no contexto da produção de dados geoespaciais.

O OGC é um consórcio formado por cerca de 490 membros, envolvendo instituições acadêmicas, empresas privadas e instituições governamentais, que participam de forma consensual na definição de padrões públicos relacionados à produção de dados geoespaciais. Estes padrões permitem incorporar a resolução de problemas de interoperabilidade de dados geoespaciais em soluções de TI sob diferentes plataformas computacionais, fornecendo, ao desenvolvedor, ferramentas que possibilitam que serviços geoespaciais e informações geoespaciais complexas possam ser acessados e utilizados por diferentes tipos de aplicações.

As especificações OGC são a base para solução dos problemas de interoperabilidade por diferentes tecnologias e ferramentas utilizadas durante o processo de gestão de dados geoespaciais.

Além disso, envolvem desde padrões de formato para troca de dados geoespaciais até padrões para armazenamento, processamento e acesso aos dados.

3.3.1 Padrões OGC voltados aos bancos de dados geoespaciais

A especificação OGC - *Simple Feature Access* (SFA) define um modelo padrão para representação de geometrias georreferenciadas bidimensionais. Esse modelo especifica tanto as estruturas de dados para representação das geometrias quanto as operações possíveis para cada tipo de dado geoespacial. O principal impacto dessa especificação pode ser verificado pela padronização no armazenamento e acesso a dados geoespaciais pelos diferentes SGBDs disponíveis do mercado. A extensão PostGIS do SGBD PostgreSQL (THE POSTGRESQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP, 2014) é o principal exemplo de aderência ao padrão SFA no âmbito dos softwares livres. Nesse SGBD, os tipos de dados geoespaciais, funções e suporte a consultas, considerando relacionamentos geoespaciais, seguem a especificação SFA. O mesmo padrão é adotado por mais 50 soluções para armazenamento de dados geoespaciais implementadas por mais de 20 empresas, dentre as quais podemos destacar as extensões geoespaciais já citadas dos SGBD Oracle, DB2 e Informix.

3.3.2 Padrões OGC voltados aos serviços geoespaciais

O modelo OGC *Reference Model* (ORM) (PERCIVALL, 2003) descreve um ambiente de computação distribuída baseado na infraestrutura da WWW, o qual tem como objetivo definir uma plataforma padrão sob a qual são elaboradas as especificações OGC. Essas especificações descrevem aspectos relativos à representação e ao processamento de dados geoespaciais, tais como, formatos padrões para representação de dados obtidos de sensores, representação de objetos georreferenciados, formatos para intercâmbio de dados geoespaciais, além da arquitetura e integração de serviços geoespaciais.

Alguns exemplos de tipos de serviços especificados na infraestrutura proposta pela ORM são:

- 1) *Web Map Service* (WMS): serviço que gera mapas dinamicamente a partir de dados georreferenciados, sejam na forma matricial ou vetorial. Um WMS é implementado como uma aplicação Web que pode ser acessada em uma *Uniform Resource Locator* (URL) por meio de um navegador. O formato da URL reflete os parâmetros necessários para execução das operações pelo serviço.
- 2) *Web Map Service* (WFS): serviço previsto no ORM provendo acesso remoto a dados geoespaciais vetoriais. Este serviço possibilita, além da consulta, operações para criação, remoção, atualização e seleção de dados. O acesso a esse serviço possibilita a troca de dados geoespaciais entre instituições diretamente por meio de ferramentas de SIG.
- 3) *Web Map Service* (WCS): serviço que permite a recuperação de dados geoespaciais no formato *raster*. O WCS fornece essas informações em formato adequado para uso em modelos científicos e visualizações, por exemplo.
- 4) *Web Processing Service* (WPS): este serviço define uma estrutura geral padrão para que instituições que desejem oferecer funcionalidades de geoprocessamento possam disponibilizá-las pela Internet. As funcionalidades podem ser desde simples combinações de planos de informação até a execução de modelos sofisticados sobre dados geoespaciais. Para descrever esta ampla gama de necessidades, o WPS é especificado como um mecanismo geral de interface entre os clientes e servidores do serviço de geoprocessamento. Esta descrição não impõe nenhum

formato específico e nem número de entradas e saídas que um serviço necessita e nem mesmo o modo de interação com o servidor. Ao invés disto, a especificação WPS apresenta elementos de como estas necessidades específicas podem ser descritas e invocadas pela da web.

- 5) *Catalogue Service (CS)*: este serviço de catalogação fornece uma visão integrada de todos os demais serviços OGC. Os serviços de dados, visualização e processamento são implementados e publicados de forma independente. Os serviços são descritos em um catálogo gerenciado pelo serviço CS, o qual permite a busca considerando diferentes características de um serviço desejado e, desta forma possibilita a sua localização.

O consórcio OGC é responsável também pela especificação da linguagem *Geography Markup Language (GML)* que permite a modelagem, transporte e armazenamento de informações geográficas. Um dado expresso em GML corresponde a um documento *eXtensible Markup Language (XML)*, cuja estrutura reflete o modelo de entidades genérico elaborado pela OGC com o objetivo de possibilitar o intercâmbio de informações geográficas entre diferentes aplicações em diferentes domínios. Essa linguagem é um dos principais recursos, possibilitando a troca de dados geoespaciais vetoriais entre instituições. A atuação do consórcio OGC tem sido fundamental para viabilizar o compartilhamento e o uso de dados geoespaciais em nível mundial e suas especificações devem sempre ser consideradas durante o desenvolvimento de novas soluções ou ferramentas de TI que envolvam o tratamento de dados geoespaciais.

3.3.3 Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (Inde)

No Brasil, o Governo Federal vem implementando medidas que visam integrar os dados geoespaciais produzidos por diversas instituições nacionais. A principal delas é a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (Inde), instituída em 2008, com o propósito de catalogar, integrar e harmonizar dados geoespaciais existentes nas instituições do governo brasileiro, produtoras e mantenedoras desse tipo de dado, de maneira que possam ser facilmente localizados, explorados e acessados para os mais diversos usos, por qualquer cliente que tenha acesso à Internet. Os dados geoespaciais devem ser catalogados por seus respectivos metadados, publicados pelos produtores/mantenedores desses dados. O acesso aos dados deve se realizar por meio do geportal denominado SIG Brasil (BRASIL, 2014a).

De acordo com o Decreto N°6.666 de 27/11/2008, a Inde tem como principais objetivos:

- 1) Promover o adequado ordenamento na geração, armazenamento, acesso, no compartilhamento, na disseminação e no uso dos dados geoespaciais.
- 2) Promover a utilização, na produção dos dados geoespaciais pelos órgãos públicos das esferas federal, estadual, distrital e municipal, dos padrões e normas homologados pela Comissão Nacional de Cartografia - Concar.
- 3) Evitar a duplicidade de ações e o desperdício de recursos na obtenção de dados geoespaciais, por meio da divulgação da documentação (metadados), dos dados disponíveis nas entidades e nos órgãos públicos das esferas federal, estadual, distrital e municipal.

O Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (Perfil MGB) é um padrão de metadados baseado na norma ISO 19115, criado com o objetivo de obter um subconjunto mínimo de metadados para descrever dados geoespaciais gerados no país. O MGB Foi elaborado pela Comissão Nacional de Cartografia (Concar), órgão colegiado do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão e é o perfil de metadados adotado pela Inde.

4 Iniciativas da Emprapa Informática Agropecuária em soluções geoespaciais

4.1 Natdata - Plataforma de Informação de Recursos Naturais dos Biomas Brasileiros

Natdata é uma plataforma para integração de dados sobre os recursos naturais dos biomas brasileiros. É resultado de um projeto conduzido pela Embrapa Informática Agropecuária, com recursos de royalties pagos pela Monsanto, com o objetivo de prover a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) de um ambiente tecnológico e integrado para a gestão da informação de recursos naturais dos biomas brasileiros, visando a geração de inteligência competitiva para a agricultura nacional, fornecendo subsídios para as ações de diagnóstico e gestão de forma mais precisa, especialmente nas áreas estratégicas de zoneamento ambiental, caracterização e manejo da biodiversidade, conservação do solo e da água. O projeto surgiu da demanda da Embrapa em desenvolver uma plataforma que pudesse organizar e integrar as diferentes bases geoespaciais produzidas e mantidas pela empresa, nem sempre disponíveis aos demais usuários. Diversos fatores contribuíam para essa indisponibilidade dos dados: a) por serem produzidos por entidades diferentes, eles geralmente encontravam-se dispersos geograficamente, armazenados nas instituições que os produziram; b) alguns deles ainda não encontravam-se organizados em banco de dados, estando em muitos casos armazenados sob a forma de planilhas, textos e até documentos em papel; e c) cada instituição adotava formato específico, o que dificultava seu uso em conjunto.

A principal dificuldade em organizar essa imensa massa de dados está relacionada à sua heterogeneidade em muitos aspectos: linguagem, formato, espacialidade, semântica e uso, características que dificultam sua integração. No entanto, dados de recursos naturais têm um ponto em comum: seu atributo geoespacial, que descreve suas características espaciais e referenciam alguma localidade na superfície na Terra e pode ser armazenado numa estrutura denominada espacial. Exemplos desse tipo de dado incluem informações sobre recursos naturais, como solos, clima e vegetação, essenciais para responder a questões do tipo “Qual a forma de intensificar a produção de cana-de-açúcar na região de Piracicaba com a manutenção dos biomas envolvidos?” ou “Qual o padrão climático esperado para uma região de determinado tipo de solo no bioma Cerrado?”. Essas questões são básicas para o estabelecimento de políticas públicas de intensificação agrícola com a conservação ambiental. Respostas a essas questões envolvem o uso combinado de dados provenientes de diferentes domínios.

O acesso integrado às diferentes informações existentes garante agilidade e qualidade na resposta gerada. Esse acesso requer um entendimento único do dado sendo usado/trocado. Ou seja, é necessário que se garanta o significado semântico comum do dado. A garantia da interoperabilidade semântica foi apontada por Sciore et al. (1994) como sendo a chave para o sucesso na integração de dados, motivadora de várias pesquisas em Banco de Dados, uma das áreas da Tecnologia de Informação.

A plataforma NatData fornece todos os dados necessários por meio de um sistema único, usando um formato comum, tornando mais fácil para os usuários a sua busca. Além disso, a maioria dos sistemas semelhantes disponíveis oferece apenas instrumentos de pesquisa tradicionais, com base em palavras-chave que, no contexto dos recursos naturais, não é suficiente por conta da busca por informações considerando questões diferentes. Neste sentido, a plataforma também

oferece ferramentas de pesquisa para recuperar informações considerando recursos geoespaciais, como um bioma, uma região geográfica ou até um determinado local informado pelo usuário.

A plataforma está sendo implementada usando o SGBD PostgreSQL/PostGIS, a tecnologia Java e considerando os padrões definidos pela OGC, abrigando hoje dados de clima, solos e biodiversidade. Considerando os resultados já obtidos, percebe-se a importância de uma plataforma que integre os diferentes tipos de dados num único local. Além disso, a facilidade de exportação dos dados em diferentes formatos aumenta sua usabilidade, permitindo sua adoção em diversos ambientes e setores decisórios que buscam a sustentabilidade. A plataforma prevê, como trabalhos futuros, a melhoria no compartilhamento da informação geográfica e a disponibilização de um conjunto de serviços que permitam a execução de análise e simulações, baseados em *workflows* científicos.

4.2 Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (Sisla)

Na maioria dos estados brasileiros, as análises dos processos de licenciamento ambiental são realizadas de forma analógica (como o uso de mapas impressos), demandando tempo considerável até a sua conclusão. Além da morosidade desses procedimentos manuais, um mesmo processo pode percorrer várias gerências dentro do órgão ambiental, uma vez que para a autorização de um empreendimento há necessidade de se analisar as conformidades ambientais em relação às Unidades de Conservação, Áreas de Preservação Permanente (APPs), Reservas Legais, Áreas Indígenas, entre outros. Visando contribuir com a operacionalização da política governamental de forma eficiente, rápida e transparente, o Estado de Mato Grosso do Sul, por meio do Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (Imasul), firmou uma parceria com a Embrapa Informática Agropecuária, com o intuito de reunir um conjunto de informações geográficas úteis à regularização e ao licenciamento ambiental e desenvolver um sistema informatizado de consultas, denominado Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental (Sisla).

O Sisla é um sistema de informação geográfica para a Web (disponível no sítio do Imasul no endereço: <http://sisla.imasul.ms.gov.br>), que permite ao usuário obter a análise espacial e a emissão de relatório do entorno do seu empreendimento, a partir do cruzamento de informações sobre a declividade do terreno, a extensão dos biomas, as áreas protegidas (Unidades de Conservação e APPs) e as áreas indígenas de forma rápida, pela internet. O sistema foi implementado com rotinas PHP (PHP, 2014), MapServer (MAPSERVER, 2014), I3GEO (BRASIL, 2014b), banco de dados PostgreSQL/PostGIS e JavaScript (MOZILLA DEVELOPER NETWORK, 2014) e é um dos mais importantes resultados do Projeto GeoMS, coordenado pela Embrapa Informática Agropecuária, financiado pelo Governo de Mato Grosso do Sul.

Um usuário que possui informações georreferenciadas (como um ponto, uma linha ou um polígono) do seu empreendimento, pode obter a análise espacial do seu entorno em menos de dois minutos. Esse fato permitiu ao Estado de Mato Grosso do Sul passar da análise espacial do licenciamento ambiental de forma analógica, manual, por vezes demorada, para uma análise na forma digital, via internet, rápida, segura e precisa. Essa modificação de procedimento promoveu um impacto positivo na qualidade das análises de regularização ambiental e autorização de licenciamento, principalmente para implantação de empreendimentos agropecuários, auxiliando na sustentabilidade da agricultura e na conservação ambiental. Outro impacto importante que pode ser considerado é o baixo custo do desenvolvimento e implantação do Sisla, proporcionado pela parceria técnica e financeira e pelo uso de softwares livres e imagens de satélite gratuitas. Além

de permitir download de mapas e imagens de satélite, essa ferramenta auxilia na implantação das ações exigidas pelo Novo Código Florestal para todo o território nacional.

Com uma média mensal de acessos em torno de 2,7 mil e mais de 3.000 usuários cadastrados, já foram registrados aproximadamente 200 mil acessos ao sistema, desde a sua implantação em outubro de 2008. Entre os usuários estão órgãos públicos, como Ministérios, Secretarias Estaduais de Meio Ambiente, universidades, Polícia Ambiental, instituições de pesquisa; e privados, como Organizações Não-Governamentais, bancos, empresas de consultoria ambiental, cooperativas, sindicatos, produtores rurais, entre outros.

4.3 WebGIS Amazônia Legal

A implantação harmônica de políticas de gestão territorial e ordenamento do uso e ocupação da terra é uma necessidade premente no Brasil, em particular na Amazônia Legal, foco de amplas preocupações ambientais, geopolíticas e de desenvolvimento do país. O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), importante instrumento de planejamento territorial, tem como objetivo viabilizar o desenvolvimento sustentável a partir da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico com a conservação ambiental. O ZEE vem sendo realizado em todos os estados da Amazônia Legal, sob a coordenação geral do Ministério do Meio Ambiente (MMA), que mobiliza para apoio do Consórcio ZEE Brasil, um conjunto de empresas públicas de notória especialização em suas respectivas áreas de atuação. No entanto, não há uma uniformidade no nível e parâmetros mínimos para todos os estados, sobretudo ao se comparar metodologias e critérios em que a execução não foi coordenada pelo Consórcio. Além disso, as diretrizes de uso e ocupação são discrepantes, principalmente nas áreas fronteiriças, requerendo discussão para se estabelecer um mínimo de uniformidade para ser colocada em prática. Neste sentido, o Projeto “Uniformização do Zoneamento Ecológico-econômico da Amazônia Legal e Integração com Zoneamentos Agroecológicos da Região”, financiado pela Finep - Inovação e Pesquisa, tem por objetivo articular os ZEEs dos Estados da Amazônia Legal, orientados para uma visão macrorregional e integrá-los com os Zoneamentos Agroecológicos. Além do estabelecimento de parâmetros mínimos para uniformizar e integrar os ZEEs desses estados e a compatibilização das legendas e diretrizes de uso e ocupação na região, o projeto prevê a disponibilização de uma infraestrutura de dados espaciais e o desenvolvimento do WebGIS Amazônia Legal, uma ferramenta Web capaz de dar suporte à manutenção e disponibilização do conteúdo gerado com a aquisição, a análise e a unificação das informações do projeto, além de oferecer subsídios para tomadas de decisão, especialmente em assuntos que dizem respeito à gestão ambiental.

Nesse sistema, desenvolvido a partir de ferramentas de código livre, os dados são armazenados em um banco de dados PostgreSQL, o qual utiliza as funcionalidades da extensão PostGIS para implementar as consultas espaciais. A utilização da plataforma i3GEO (BRASIL, 2014b) possibilita, além da interatividade de uma ferramenta Web Mapping, reunir características adicionais que permitem a análise geográfica de temas, desenho vetorial e outras ferramentas que auxiliam o usuário na exploração de detalhes do mapa, exibindo diversas informações pela mudança de parâmetros de visualização. O sistema inclui ainda uma ferramenta de geração de relatórios de análise espacial, capaz de cruzar um dado vetorial inserido pelo usuário (polígono, ponto ou linha) com os diversos mapas contidos no WebGIS, obtendo-se como resultado um relatório com as análises espaciais realizadas, descrevendo de forma detalhada, distância, interseção e classes de cada tema selecionado que contém ou estão contidos no dado fornecido pelo usuário.

4.4 Banco de Produtos MODIS

As imagens de satélite têm sido uma fonte importante de informações para estudos dos ecossistemas, pois proveem a necessária visão sinótica e temporal da superfície terrestre. Atualmente, existe uma série de sensores disponíveis aos usuários, gerando dados da superfície terrestre com diferentes detalhamentos e periodicidades. As políticas de incentivo ao compartilhamento de dados, aliadas ao desenvolvimento de sistemas web de distribuição, têm facilitado o acesso do público em geral às imagens de satélite, permitindo o desenvolvimento de estudos nos mais variados temas. Um exemplo são as imagens do sensor Modis, principal instrumento a bordo das plataformas orbitais Terra e Aqua, administradas pela Nasa.

Uma das vantagens no uso dos dados Modis é a alta periodicidade de revisita, por conta de sua alta resolução temporal, representando uma fonte importante de informações para a construção de séries temporais de imagens e sua aplicação nos mais diversos estudos sobre a superfície terrestre. Apesar de existirem repositórios que oferecem produtos pré-processados derivados do sensor Modis, como o MOD13Q1 e o MYD13Q1 (NASA, 2014), que disponibilizam imagens de índices vegetativos da cobertura terrestre, esses dados são compartilhados em formatos pouco usuais, numa projeção cartográfica especial, e em recortes espaciais de 10 x 10 graus de longitude/latitude, denominados tiles.

Para facilitar o acesso a esses produtos no Brasil, a Embrapa Informática Agropecuária iniciou o desenvolvimento do Banco de Produtos MODIS na Base Estadual Brasileira, com o intuito de armazenar e disponibilizar ao usuário imagens já prontas para uso, em recortes estaduais, sem a necessidade de qualquer processamento complementar. No desenvolvimento do banco, além do SGBD PostgreSQL, foi utilizado o ambiente GeoNetwork (GEONETWORK OPENSOURCE, 2014), uma ferramenta web de código livre para a documentação, edição e disseminação de metadados geográficos. O GeoNetwork é um ambiente padronizado e descentralizado para a gestão de informação espacial, desenhado para proporcionar acesso a bancos de dados georreferenciados, produtos cartográficos e metadados relacionados, obtidos a partir de uma variedade de fontes de dados. O Banco de Produtos MODIS pode ser acessado pelo endereço www.modis.cnptia.embrapa.br e, atualmente, disponibiliza quase 50 mil imagens da série histórica completa dos índices vegetativos NDVI e EVI (derivados dos produtos MOD13Q1 e MYD13Q1), em recortes estaduais, com atualização periódica a cada 8 dias, conforme disponibilização dos dados pelo repositório da Nasa.

4.5 TerraClass - Sistema de Monitoramento do Uso e Cobertura da Terra nas Áreas Desflorestadas da Amazônica Legal

Constituindo um dos principais focos das atenções internacionais e nacionais, sobretudo pela sua importância absoluta e relativa no montante Global de ecossistemas florestais ainda preservados, a Amazônia Legal é uma região cuja política de ocupação histórica determinou um padrão de intervenção humana incompatível com os atuais princípios de sustentabilidade ambiental, social e econômica.

Desde o final da década de 1980 os desflorestamentos na Amazônia Legal vêm sendo monitorados anualmente pelo Projeto Prodes “Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite” e o conhecimento acumulado possibilitou a definição e monitoramento dos impactos de políticas públicas que tinham como objetivo alterar o estado de emergência crônica associado a esse fenômeno.

Em 2008, atendendo a uma demanda do Governo Federal que buscava identificar quais eram os destinos dados às áreas desflorestadas da Amazônia Legal, como uma maneira de aprofundar o conhecimento sobre o fenômeno dos desflorestamentos e de promover, além das políticas de comando e controle para contenção dos desflorestamentos, uma agenda positiva para orientar e estimular o bom uso das terras das áreas já desflorestadas, foi articulado o projeto TerraClass “Sistema de Monitoramento do Uso e Cobertura da Terra nas Áreas Desflorestadas da Amazônica Legal” (COUTINHO et al., 2013).

Os avanços percebidos na área de Tecnologia da Informação e Comunicação das últimas décadas, tanto em termos do aumento da capacidade de armazenamento e processamento de dados e informações, quanto na sua capacidade de comunicação e compartilhamento, tornou possível o enfrentamento, o desafio de desenvolver e implementar um sistema de monitoramento da dinâmica de uso e cobertura de uma região tão vasta e de acesso extremamente complexo.

A adoção de geotecnologias relacionadas à aquisição, ao processamento e à disponibilização de dados geográficos, possibilitou a integração de diferentes metodologias de processamento de dados de sensores remotos orbitais, para a geração sistemática de mapas sobre o uso e cobertura da terra de toda a região e, mais importante do que isto, têm viabilizado a sua publicação integral por meio da internet.

Com a ampliação da série histórica de dados do Projeto TerraClass e a ampliação da sua área de abrangência, incluindo também as áreas antropizadas do bioma Cerrado, para atender nova solicitação do Governo Federal, surge uma nova demanda, relacionada à disponibilização de serviços geográficos pela internet, para potencializar ainda mais a adoção dos dados e informações gerados pelo projeto. Considerando a importância estratégica dessa demanda, a Embrapa Informática Agropecuária está desenvolvendo um novo ambiente computacional que permita, além de organizar, armazenar e disponibilizar dados e informações sobre esses biomas, oferecer serviços geográficos via web, para potencializar o atendimento das demandas dos diferentes tipos de usuários desses produtos.

5 Visão de futuro sobre as geotecnologias e dados geoespaciais

A visão de futuro é a base de todo planejamento estratégico e é o que orienta as atividades cotidianas de uma organização. Por meio de exercícios de imaginação do futuro, as chances de identificar oportunidades e de antecipar as barreiras e tendências são maiores.

Em outubro de 2011, a Organização das Nações Unidas (ONU) promoveu um fórum de especialistas em Gestão Global da Informação Geoespacial - *Initiative on Global Geospatial Information Management* (GGIM), que contou com a participação do Brasil, quando foram criados grupos de trabalhos para elaborar uma visão de futuro de 5 a 10 anos do setor de geotecnologias. O interesse em saber como as novidades se relacionariam com o desenvolvimento humano, levando em consideração o crescimento econômico, a sustentabilidade ambiental, a gestão de desastres e o bem-estar social, estimularam essa iniciativa (CARPENTER; SNELL, 2014).

No documento produzido pelo comitê da ONU, que reúne os especialistas no gerenciamento das informações geoespaciais globais, foram elencadas quatro principais preocupações (CARPENTER; SNELL, 2014):

- 1) No processo de evolução das informações geoespaciais, considerar a passagem da visão comum para a gestão de informação geoespacial nacional e mundial.
- 2) Investir em plataformas abrangentes para melhorar a partilha e divulgação nacional e global de dados geoespaciais.
- 3) Elaborar códigos de conduta para a informação geoespacial para melhorar a confiança do público.
- 4) Evolução de um relacionamento mutuamente benéfico entre o governo e as entidades não governamentais.

O GGIM identificou, ainda, cinco temas para desenvolvimento:

- 1) Acompanhar as tendências tecnológicas, bem como as diretrizes para a criação, manutenção e gestão de dados geoespaciais.
- 2) A necessidade de se evoluir quanto aos aspectos legais e políticos das informações geoespaciais.
- 3) Estabelecer responsabilidades ao longo da produção e disseminação, bem como treinamentos.
- 4) O papel dos setores privados e não governamentais.
- 5) O futuro papel dos governos na transmissão de dados e a gestão.

Com a evolução dos dispositivos de conexão sem fio, o grande mercado das geotecnologias não será mais o de produção de mapas, mas o advento dos serviços baseados em localizações, que engloba desde atendimentos de emergência em estradas até monitoramento de filhos adolescentes, passando por comunicação eficiente entre equipes de campo. O mercado atual de SIG contabiliza dois milhões de usuários, enquanto que o mercado para serviços remotos, baseados em posicionamento, chegará a pelo menos 10 vezes isso em poucos anos, ocupado por um novo tipo de indústria, capaz de unir conhecimento na área de telecomunicações e GPS com a inevitável demanda por fornecimento de dados inerentes a um ambiente móvel.

A ciência está respondendo a esses desafios com grande empenho e muita pesquisa. Os termos mapas e cartografia estão sendo substituídos por ontologia, incerteza e modelos espaço-temporais. A palavra ontologia diz respeito aos problemas de representar o conhecimento geográfico no computador. Não se trata mais de escolher entre vetores ou matrizes, mas buscar a equivalência semântica de conceitos. A pesquisa atual baseia-se no uso do paradigma de estatística espacial para representação e propagação de incertezas. O grande desafio dos modelos espaço-temporais é nos libertar da visão estática dos mapas dos SIG já que ações estão continuamente modificando o mundo à nossa volta.

As perspectivas científicas e tecnológicas na área de informação espacial são extremamente estimulantes e desafiadoras. Terá sucesso nesses novos paradigmas quem souber incluir, em sua visão do mundo geográfico, uma abordagem baseada na localização e na dinâmica das ações humanas (CÂMARA, 2000).

6 Considerações finais

A evolução das geotecnologias, a velocidade na geração dos dados geoespaciais e a massiva quantidade de geoinformação produzida impõem desafios enormes para o tratamento, organização e disponibilização desse volume de dados. As perspectivas futuras indicam que os dados geoespaciais estarão cada vez mais presentes no dia-a-dia das pessoas, aumentando a demanda por serviços geoespaciais e soluções para a melhoria de processos.

A demanda por processos eficientes para tratamento e organização de uma massa crescente de dados geoespaciais tem estimulado uma mudança de paradigma no que se refere à construção de aplicações científicas, incentivando o surgimento de novas plataformas e ferramentas de alta capacidade de processamento.

As capacidades de armazenamento e de processamento de dados geoespaciais devem ser incrementadas para que seja possível superar os desafios representados pelo chamado *Big Data*, definido como um conjunto de dados caracterizado pelo seu grande volume, sua alta velocidade de atualização e pela sua abrangência ou variedade de temas. Este tipo de dado se tornará cada vez mais presente nas atividades de pesquisa, sendo um resultado da utilização crescente de dados de sensores de maior resolução espacial e temporal, pela maior facilidade de acesso a produtos geoespaciais, e pela necessidade de uma análise integrada destes dados com dados não-espaciais.

7 Referências

- ARCGIS RESOURCES. **Key aspects of GIS**. 2014. Disponível em: <<http://resources.arcgis.com/en/home>>. Acesso em: 2 out. 2014.
- BRASIL. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. **SIG Brasil - O Portal Brasileiro de Dados Geoespaciais**. 2014a. Disponível em: <<http://www.inde.gov.br/a-inde>>. Acesso em: 22 set. 2014.
- BRASIL. Portal do Software Público Brasileiro. **i3Geo**. 2014b. Disponível em: <http://www.softwarepublico.gov.br/ver-comunidade?community_id=1444332>. Acesso em: 22 set. 2014.
- CÂMARA, G. Perspectivas ao Norte do Equador. **InfoGEO**, Curitiba, v. 16, nov. 2000. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2000/12/01/perspectivas-ao-norte-do-equador/>>. Acesso em: 22 set. 2014.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em Ciência da Geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: Inpe, 2001. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2014.
- CÂMARA, G.; CASANOVA, M.; MEDEIROS, C. B.; MAGALHÃES, G.; HEMERLY, A. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Unicamp, 1996. 193 p. Trabalho apresentado na Escola de Computação, julho 1996, Campinas.
- CARPENTER, J.; SNELL, J. **Future trends in geospatial information management: the five to ten year vision**. New York: United Nations Initiative on Global Geospatial Information Management, 2013. 40 p. Disponível em: <<http://ggim.un.org/docs/Future-trends.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2014.
- CASANOVA, M.; CÂMARA, G.; DAVIS, C.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. (Ed.). **Bancos de dados geográficos**. Curitiba: MundoGeo, 2005. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/>>. Acesso em: 3 out. 2014.

COUTINHO, A. C.; ALMEIDA, C. A.; VENTURIERI, A.; ESQUERDO, J. C. D. M.; SILVA, M. **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal**: TerraClass 2008. São José dos Campos: Inpe; Brasília-DF Embrapa, 2013. 107 p. il.

GEONETWORK OPENSOURCE. **GeoNetwork opensource**. 2014. Disponível em: <<http://geonetwork-opensource.org/index.html>>. Acesso em: 10 out. 2014.

IBM CORPORATION. **DB2 spatial extender for Linux, Unix and Windows**. 2014a. Disponível em: <<http://www-03.ibm.com/software/products/en/db2spaext>>. Acesso em: 20 set. 2014.

IBM CORPORATION. **Informix spatial software**. 2014b. Disponível em: <<http://www-01.ibm.com/software/data/informix/spatial/>>. Acesso em: 20 set. 2014.

MAPSERVER. Open Source Web Mapping. **MapServer**. 2014. Disponível em: <<http://mapserver.org/>>. Acesso em: 25 set. 2014.

MOZILLA DEVELOPER NETWORK. **JavaScript**. 2014. Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/JavaScript>>. Acesso em: 20 set. 2014.

NASA. Land processes Distributed Active Archive Center. **MODIS Data Products Table**. 2014. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table>. Acesso em: 20 set. 2014.

OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. Disponível em: <<http://www.opengeospatial.org/>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

ORACLE CORPORATION. **Oracle spatial and graph**. 2014. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technetwork/database/options/spatialandgraph/overview/spatialandgraph-1707409.html>>. Acesso em: 20 set. 2014.

PERCIVALL, G. (Ed.). **OGC reference model reference**. Version: 0.1.3. Reference number: OGC 03-040. 2003. Disponível em: <<http://rap.opengeospatial.org/orm.php>>. Acesso em: 3 out. 2014.

PHP. **Hypertext preprocessor**. 2014. Disponível em: <<http://php.net/>>. Acesso em: 20 set. 2014.

PIRES, M. F.; MEDEIROS, C. M. B.; SILVA, A. B. Modelling geographic information systems using an object-oriented framework. In: BAEZA-YATES, R. **Computer Science 2**. New York: Springer, 1994. p. 199-211. DOI: 10.1007/978-1-4757-9805-0_18.

POSTGIS PROJECT STEERING COMMITTEE. **PostGIS - spatial and geographic objects for PostgreSQL**. 2014. Disponível em: <<http://postgis.net/>> Acesso em: 25 set. 2014.

SATAR, M. **Bab IV. Pengenalan ArcGIS**. 2014. Disponível em: <<https://musnanda.wordpress.com/2014/04/07/bab-iv-pengenalan-arcgis>>. Acesso em 03 out. 2014.

SCIORE, E.; SIEGEL, M.; ROSENTHAL, A. Using semantic values to facilitate interoperability among heterogeneous information systems. **ACM Transactions Database Systems**, 19, v. 2, p. 254-290. 1994.

STUCKENSCHMIDT, H.; HARMELEN, F. Van. **Information sharing on the semantic web**. New York: Springer, 2004. 276 p.

THE POSTGRESQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP. **PostgreSQL: the world's most advanced open source database**. 2014. Disponível em: <<http://www.postgresql.org/>> Acesso em: 25 set. 2014.