

# Infraestruturas de Dados Espaciais na Integração entre Ciência e Comunidades para Promover a Sustentabilidade Ambiental

Clodoveu A. Davis Jr.<sup>1</sup>, Frederico T. Fonseca<sup>2</sup>, Gilberto Câmara<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – MG – Brasil

<sup>2</sup>College of Information Sciences and Technology – The Pennsylvania State University  
State College – PA – USA

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)  
São José dos Campos – SP – Brasil

clodoveu@dcc.ufmg.br, ffonseca@ist.psu.edu, gilberto.camara@inpe.br

**Abstract.** *This paper will explore ways to go beyond the traditional SDI (spatial data infrastructures) towards the Digital Earth concept, with the objective of supporting environmental policies that lead to sustainability. Environmental policy making has to take into account that phenomena occur and are modeled in various geographic scales, from microbiology to global climate impacts. There are multiple and sometimes conflicting views on the same reality, including the ones from scientists, policy makers, and citizens. Currently, the combination of technologies, people, and policies that defines an SDI is probably the best approximation we have to solve these problems, but some important elements are missing. We discuss the limitations of current SDIs as to data and information flow, semantics, and community building.*

**Resumo.** *Este artigo explora maneiras de ampliar as infraestruturas de dados espaciais (IDE) tradicionais em direção ao conceito de Digital Earth, com o objetivo de suportar políticas ambientais que levem à sustentabilidade. A definição dessas políticas precisa levar em conta fenômenos em várias escalas, da microbiologia até impactos sobre o clima global. Existem múltiplas visões conflitantes sobre a mesma realidade, incluindo as de cientistas, formuladores de políticas e cidadãos. Atualmente, a combinação de tecnologias, pessoas e políticas que compõe uma IDE é provavelmente a melhor aproximação disponível para resolver esses problemas, mas faltam alguns elementos importantes. O artigo discute limitações das IDEs atuais quanto ao fluxo de dados e formação, semântica e formação de comunidades.*

## 1. Introdução

A criação de políticas ambientais requer um volume substancial de informação geográfica, desde dados científicos (em diversas áreas), até a visão e experiência da população local. Cientistas coletam dados, realizam análises, e geram informação útil, bem como recomendações para os responsáveis pelas políticas públicas para o meio ambiente. O amplo acesso a esse tipo de informação é importante, não apenas para que as políticas

possam ser formuladas com neutralidade e melhor embasamento, mas também para que as pessoas afetadas pelas políticas possam compreender as razões que orientam a ação governamental. Os cidadãos devem poder participar mais direta e ativamente desse processo, tomando conhecimento sobre fatos a respeito da região em que vivem, expressando suas opiniões, e contribuindo para encontrar soluções. Nesse cenário, é evidente que a informação, caso possa fluir com facilidade e chegar a todos os envolvidos, pode cumprir o papel de elo de ligação entre os envolvidos, com seus diversos perfis.

Em diversos aspectos, esse tipo de arranjo excede o conceito usual de infraestrutura de dados espaciais (IDE). Tal infraestrutura precisaria funcionar de forma diferente dos enfoques tradicionais, que se assemelham a sistemas automatizados de distribuição de mapas (Masser 2005). No nosso ponto de vista, seria necessário conceber algo mais amplo, de modo a facilitar a compreensão do espaço. Uma IDE estendida seria usada como um elemento de disseminação de dados espaciais e de colaboração para dar suporte à concepção, criação, implementação, avaliação e revisão de políticas ambientais. Assim, este artigo apresenta propostas para exceder o conceito usual de infraestruturas de dados espaciais na direção do que está sendo chamado de *Next-generation Digital Earth* (Craglia, Goodchild *et al.* 2008). Essa visão apresenta novos desafios para a pesquisa em geoinformática e em outras áreas do conhecimento, e vai além do que está sendo definido, por exemplo, para a construção da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), criada em novembro de 2008, sob a responsabilidade da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR).

Os problemas ligados à sustentabilidade ambiental da Amazônia são um bom exemplo da abrangência e alcance dos problemas que precisam ser enfrentados por essa área de pesquisa no decorrer dos próximos anos<sup>1</sup>. A Amazônia tem atualmente mais de 20 milhões de habitantes, que demandam acesso a saúde, educação, e bem-estar econômico. Múltiplos atores e diversos arranjos institucionais dão forma a diferentes tipos de vetores de mudanças na região (Alves 2002). Grande parte da economia da Amazônia é baseada em atividades como a extração de madeira, mineração, criação de gado e cultivo de soja, as quais usualmente recorrem ao desmatamento ilegal para obter terras. Com isso, a população local tende a considerar que a floresta “vale mais morta do que viva”. Os mesmos arranjos institucionais vêm alterando o uso da terra ao longo dos últimos 40 anos, definindo como os recursos naturais são obtidos e controlados, e gerando as regras e comportamentos associados a seu uso. Sair da situação atual requer mudanças na organização econômica e social da região, para que práticas sustentáveis possam ser promovidas e apoiadas, e o uso predatório da terra inibido. Em resumo, a floresta precisa passar a valer mais viva do que morta (Davis Jr, Fonseca *et al.* 2009 (to appear)).

Esse complexo cenário envolve o gerenciamento e uso de grandes volumes de dados, distribuídos entre diversas fontes, obtidos, utilizados e analisados por muitas pessoas, de diversos perfis, usando diferentes técnicas e métodos. A colaboração entre essas pessoas, bem como a simplificação do acesso e uso da informação, são elementos fundamentais para que se possa progredir na busca de soluções. Portanto, consideramos que um sistema de informação espacial dotado de recursos de integração entre cientis-

---

<sup>1</sup> Muitas das questões de pesquisa e propostas apresentadas neste artigo decorrem de discussões ocorridas no Workshop “Spatial Data Infrastructures for the Amazon: Integrating People, Information, and Models”, organizado pelos autores em dezembro de 2008, no Rio de Janeiro ([http://www.personal.psu.edu/fuf1/SDI\\_for\\_the\\_Amazon/Workshop%20SDI%20for%20the%20Amazon.html](http://www.personal.psu.edu/fuf1/SDI_for_the_Amazon/Workshop%20SDI%20for%20the%20Amazon.html)).

tas, formuladores de políticas e cidadãos, uma infraestrutura de dados espaciais estendida, voltada para a sustentabilidade da Amazônia, pode ter uma contribuição decisiva.

Este artigo está organizado como se segue. A Seção 2 apresenta o entendimento atual sobre a Ciência da Sustentabilidade. A Seção 3 traz conceitos sobre IDEs. A Seção 4 traz nossa visão sobre as limitações das IDEs para uso em problemas que requerem colaboração. Finalmente, a Seção 5 traz algumas conclusões.

## 2. Ciência da Sustentabilidade

A Amazônia é um excelente exemplo da complexidade e diversidade dos desafios colocados para a pesquisa sobre sustentabilidade. As áreas de conhecimento potencialmente envolvidas com temas ligados à sustentabilidade são tantas que apenas um enfoque fortemente multidisciplinar teria chances de ser bem sucedido. Uma das tentativas de caracterizá-la com base em múltiplas disciplinas foi denominada *ciência da sustentabilidade* (Kates, Clark *et al.* 2001), e envolve entender, integrar e modelar a natureza e a sociedade. Considera que é necessário criar recursos de modelagem capazes de representar o mundo conforme percebido e modificado pela sociedade, e com os quais seja possível analisar os impactos decorrentes de ações humanas em diferentes escalas e com graus variáveis de detalhamento. Com isso, as principais questões que a ciência da sustentabilidade se propõe a estudar são as seguintes (Clark and Dickson 2003):

- Como incorporar, com maior precisão, interações dinâmicas aos modelos emergentes e aos sistemas de conceitos que integram o sistema ambiental da Terra, o desenvolvimento social e a sustentabilidade?
- Como as tendências de longo prazo sobre ambiente e desenvolvimento estão modificando as relações entre sociedade e natureza?
- Que fatores determinam os limites da capacidade de recuperação e das fontes de vulnerabilidade nessa interação sociedade-natureza?
- Que sistemas de incentivos podem ser mais eficientes para melhorar a capacidade social de guiar as interações entre a natureza e a sociedade até patamares mais sustentáveis?
- Como a ciência e a tecnologia podem contribuir mais efetivamente para que se alcance as metas de sustentabilidade? (Clark 2007)

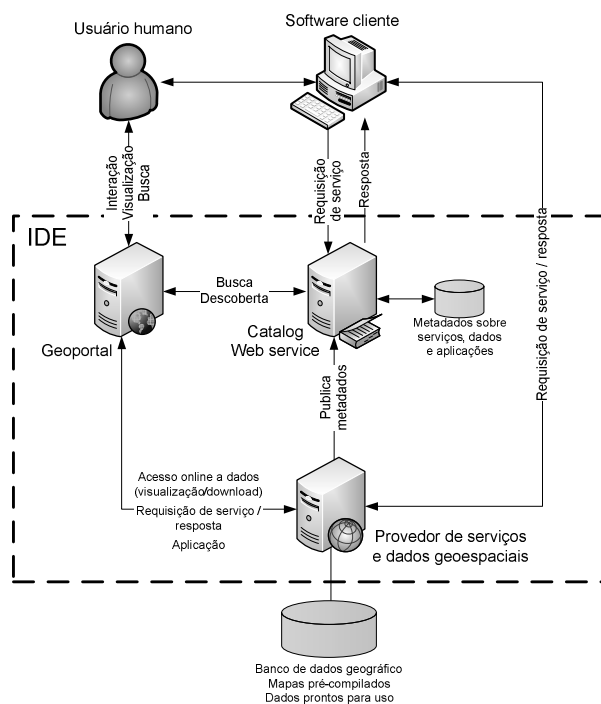
Como se pode perceber, as questões de Clark expressam grandes desafios para a ciência e a tecnologia da informação, e para a geoinformática em particular. Basta imaginar sua aplicação no contexto da Amazônia, com seu imenso território, diversidade de condições ambientais e multiplicidade de atores, com pontos de vista que vão do político ao cientista, passando pelo cidadão comum, habitante ou não da região. Atualmente, a combinação de tecnologias, pessoas e políticas que define uma infraestrutura de dados espaciais é provavelmente a melhor aproximação tecnológica de que dispomos para responder a esses desafios. No entanto, alguns elementos estão ausentes da arquitetura tecnológica geral de IDE, conforme discutiremos nas próximas seções.

## 3. Infraestruturas de Dados Espaciais

Infraestruturas de dados espaciais (IDE) são vistas como um novo enfoque para a criação, distribuição e uso da informação geográfica, com ênfase na interoperabilidade (Davis Jr. 2008; Fonseca 2008). IDEs procuram ir além da simples distribuição de mapas e

dados cartográficos previamente existentes. IDEs têm o potencial de se tornarem elementos fundamentais para a compreensão do espaço, disseminando dados e informação espacial juntamente com metadados sobre origem, qualidade e descrições semânticas. O usuário típico de uma IDE é alguém que precisa combinar dados provenientes de diversas fontes para gerar nova informação sobre uma área de estudo. Nessa visão, IDEs podem ter um papel determinante no gerenciamento do meio ambiente e no crescimento econômico sustentável (Davis Jr, Fonseca et al. 2009 (to appear)).

De fato, uma IDE é composta de políticas, tecnologias e padrões que interconectam uma comunidade de usuários de informação espacial e atividades de suporte correlatas voltadas para a produção e gerenciamento de informação espacial (Phillips, Williamson *et al.* 1999), evitando esforços redundantes e reduzindo o custo de produção para bancos de dados novos ou existentes, através do compartilhamento de recursos. IDEs são vistas como hierarquias de fontes de dados, conforme definidas por Rajabifard et al (2000), nas quais a informação é consolidada a partir do nível corporativo e local, até chegar aos níveis regional e global (Jacoby, Smith et al. 2002; de Man 2006). Podem ser implementadas por meio do encadeamento de serviços de informação (Alameh 2003) ou pela integração de componentes de software (Granell, Gould *et al.* 2005) que podem ser encontrados a partir de geoportais (Maguire and Longley 2005).



**Figura 1 - Geoportais e IDE**

Uma IDE, como no caso de outros tipos de infraestrutura, implica na existência de algum tipo de coordenação para formulação e implementação de políticas, além da produção de conjuntos mais completos de metadados padronizados (Maguire and Longley 2005). A primeira geração de IDEs se preocupou em garantir um amplo espectro temático, o que é consistente com a analogia entre IDE e outros tipos de infraestrutura, que visam incentivar o desenvolvimento econômico a partir da ampla oferta de bens e serviços para acesso público e destinados a múltiplas finalidades. Nesse sentido, *geoportais* (Maguire and Longley 2005; Tait 2005) são vistos como componentes de IDEs.

Enquanto uma IDE materializa uma oferta de dados geográficos, a partir de provedores que publicam serviços Web específicos, um geoportal provê meios para que usuários humanos possam dispor de acesso interativo aos dados, incluindo visualizadores e ferramentas de descoberta baseadas em metadados (Figura 1).

A implementação de IDEs tem sido realizada com clara preferência pelo uso de arquiteturas orientadas por serviços (*service-oriented architectures*, SOA) (Papazoglou and Georgakopoulos 2003; Bernard and Craglia 2005), em particular usando padrões definidos pelo Open Geospatial Consortium (OGC), tais como o *Web Feature Service* (WFS), o *Web Map Service* (WMS) e vários outros, inclusive alguns que se encontram atualmente em avaliação (Klopper 2005).

#### 4. Limitações das IDEs

O conjunto de tecnologias que suporta as IDEs é notável por suas características de interoperabilidade, que permitem que se junte diversas organizações provedores de dados, sem interferir com suas escolhas tecnológicas, processos de produção ou cultura interna. Na realidade, prover acesso interoperável aos dados é apenas um primeiro passo para IDEs, cuja trajetória de evolução leva à possibilidade de se ter *sistemas de informação geográfica de acoplamento fraco* (Ferris and Farrell 2003; Davis Jr. and Alves 2007). No entanto, diversas limitações aparecem na concepção do próximo passo, ou seja, ao vislumbrar como a ampla disponibilidade de dados e informação espacial podem fazer a diferença na solução de problemas complexos, envolvendo múltiplos atores, com diferentes – e muitas vezes conflitantes – visões da realidade.

Embora o arcabouço atual de tecnologia para IDEs, apoiado em componentes e serviços Web padronizados pelo OGC (INSPIRE 2002), represente um avanço significativo em relação aos tempos de intercâmbio *offline* de dados geográficos, ainda há muito a fazer. Existe uma demanda por mais interação, suporte à cooperação, e à criação de comunidades. As pessoas precisam ser motivadas a participar, e melhores recursos para descoberta de dados precisam ser implementados, considerando principalmente aspectos semânticos, já que a interdisciplinaridade é um requisito claro nesses tipos de problemas. O restante do artigo conduz as discussões considerando três grupos de atores (*cidadãos, cientistas e formuladores de políticas*), e observando como ocorrem as interações entre eles na criação de políticas que levem à sustentabilidade ambiental.

##### 4.1 Fluxo de Dados e de Informação

A Figura 2 representa as fontes tradicionais de informação utilizadas por cada ator. Pode-se perceber que, embora existam fontes comuns, informação gerada por um ator raramente chega aos demais, já que existem lacunas semânticas entre eles. Por exemplo, cientistas usam imagens de sensoriamento remoto e modelos ambientais para determinar o ritmo de desmatamento no ano anterior. O resultado de muito trabalho altamente especializado chega ao público, através da imprensa, como um único número. O cidadão interessado e que vive na região amazônica toma conhecimento da notícia, mas não consegue saber quanto desmatamento ocorreu perto de onde mora, já que é grande o volume de dados e há a necessidade de usar software especializado para acessá-lo – mesmo que os autores do estudo original tenham colocado seus dados à disposição de todos. Sua reação potencial à destruição da floresta é limitada pela falta de informação correta e compreensível em seu nível semântico e cultural. Formuladores de políticas e oficiais do governo são, portanto, motivados principalmente pelo número geral do des-

matamento conforme divulgado pela imprensa, já que a resposta da comunidade à degradação ambiental é improvável na ausência de informação. Também por falta de informação, leis, políticas e ações voltadas ao combate ao desmatamento ilegal permanecem também desconhecidas do público em geral. Em consequência, o potencial para denúncias populares sobre o desmatamento é reduzido, já que os cidadãos não conhecem as políticas e a legislação em vigor.

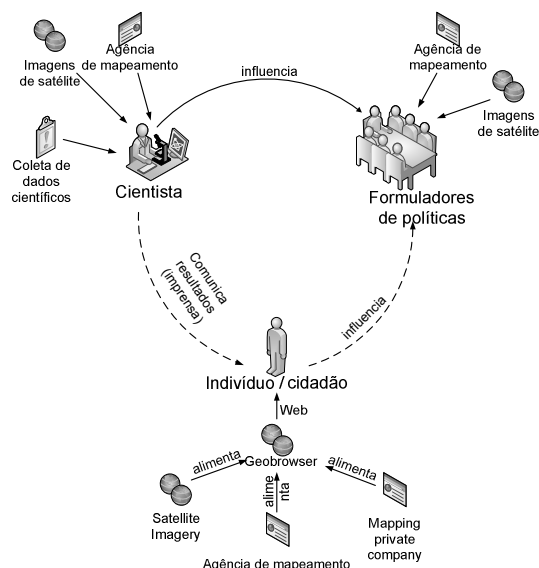


Figura 2 – Fluxo antes das IDEs

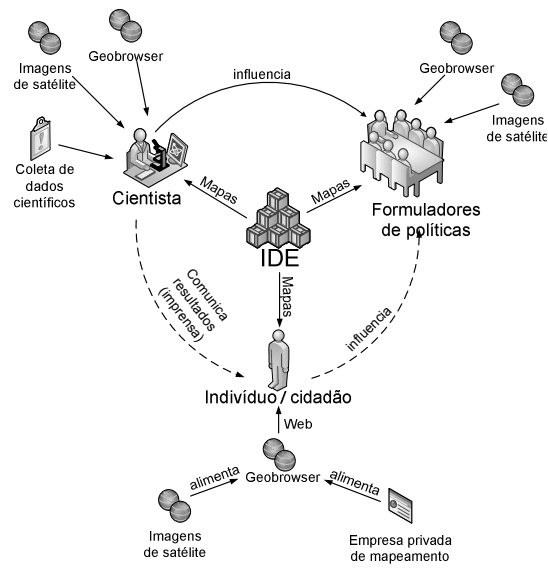


Figura 3 -- Fluxo incluindo IDEs

O advento das IDEs teve impacto sobre o esforço necessário para o compartilhamento de dados (Figura 3), mas não garante que os atores envolvidos consigam fazer bom uso da tecnologia, ou mesmo que a integração da informação consiga disparar melhores respostas para os desafios nessa direção. De fato, IDEs são mais associadas a ações governamentais e ao ponto de vista oficial sobre acervos de dados espaciais, devido ao forte envolvimento das agências oficiais de mapeamento e provedores de dados espaciais tradicionais. Novamente, a participação de atores tais como cientistas e cidadãos para o enriquecimento das IDEs é limitada.

Informação geográfica obtida por contribuição voluntária (*volunteered geographic information, VGI*) é um dos mais promissores temas de pesquisa na área de redes sociais na Web. Envolve a necessidade de motivar, viabilizar e integrar contribuições simples, de muitas pessoas, a dados detalhados e sofisticados, mantidos pelo governo e pela academia, usando a Web. A relevância da participação individual pode ser ilustrada usando alguns dados do projeto Globo Amazônia<sup>2</sup>, um portal sobre problemas ambientais. Uma seção do portal mostra a localização de queimadas e de pontos de desmatamento em um mapa, usando dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) sobre imagens do Google Maps, e permite que as pessoas se manifestem, postando protestos associados a localizações. Algumas pessoas se sentiram motivadas a ir além disso, e os administradores do portal começaram a receber denúncias de desmatamento por e-mail. Embora as pessoas não tenham cooperado diretamente na identificação de casos de desmatamento ou queimadas, fica claro o potencial para o envolvimento dos cidadãos em questões ambientais. O portal recebeu mais de 41 milhões de manifestações em

<sup>2</sup> <http://www.globoamazonia.com>

menos de três meses após sua criação, em setembro de 2008. Uma aplicação para facilitar o registro de protestos através da rede social Orkut foi instalada por mais de 450.000 usuários, em todo o país. Tamanha manifestação popular motivou várias reações políticas, incluindo discursos no Congresso e declarações públicas de autoridades sobre a importância da opinião pública como motivador das ações de monitoramento.

Os cidadãos interessados podem contribuir muito mais, a partir de um acesso à Web em casa, exercitando seu interesse em alguma causa que percebam como valiosa (Moore 2007). As pessoas podem ser motivadas a monitorar imagens de satélite de determinada região, ou a informar o destino de bens relacionados à floresta nas cidades. Naturalmente, algum tipo de verificação de qualidade é necessário, de modo a eliminar contribuições falsas ou mal-intencionadas. Tais mecanismos existem em alguns sites de “wiki-mapping” ou “geotagging”, tais como Wikimapia, que incluem o estabelecimento de reputação de usuários e filtram contribuições incorretas ou inconvenientes.

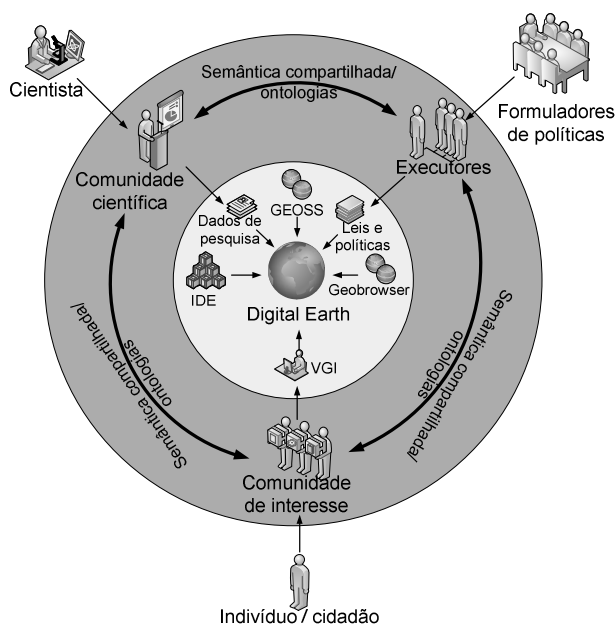
## 4.2 Semântica

Lacunas semânticas também contribuem para o isolamento entre os atores no arranjo das IDEs (Figura 3), já que as visões de mundo interferem na modelagem e na coleta de dados em um nível semântico. Com isso, a compreensão da semântica é um requisito claro para uma IDE que pretenda dar suporte a pesquisa sobre sustentabilidade (Craglia, Goodchild et al. 2008; Davis Jr, Fonseca et al. 2009 (to appear)). As várias visões científicas envolvidas em questões ambientais exigem melhores maneiras de navegar entre os conjuntos de conceitos, ou ontologias, que caracterizam cada grupo de atores.

A construção de ontologias por cientistas da informação é uma tentativa de resolver dilemas lingüísticos (Fonseca and Martin 2005) através de um dicionário de termos e definições em um ambiente taxonômico de representação de conhecimento que pode ser compartilhado por diversas comunidades. No entanto, teorias sobre o que existe não são definidas por um vocabulário comum, pois dependem das perspectivas particulares e das maneiras de perceber o mundo em que vivemos, nossos *esquemas culturais* (Saab 2008; Saab and Fonseca 2008). Por exemplo, existe um desafio em tornar informação científica disponível para estudantes em todo o mundo, como parte de um esforço para aumentar a consciência ambiental em crianças, usando tecnologias da Web. No contexto da Web 2.0, *mashups* facilitam a criação de aplicações que integram diferentes fontes de informação. Estudantes de ensino fundamental estão cada vez mais familiarizados com ferramentas de interação social (Facebook, Orkut), com vídeos online (YouTube), e serviços de mapeamento (Google Maps). Imagine-se um cenário em que um estudante pesquisa o aquecimento global e seus impactos na cidade em que vive. Pode começar coletando notícias no site de um jornal, fazer uma busca por nomes de lugares e encontrá-los em um mapa online, então visualizar imagens de satélite e de meteorologia. Ao completar o trabalho, este pode ser postado online, para receber contribuições de outros estudantes. Ontologias podem ser usadas para combinar o rigor científico com a informalidade dos estudantes nessa faixa de idade. Essas ontologias devem ser capazes de reconhecer, aceitar e expressar os diversos aspectos culturais do processo. Esquemas culturais são vistos como um tipo especial de ontologia, usados para representar e integrar os vários tipos de conhecimento envolvidos neste problema.

## 4.3 Criação de Comunidades

O tipo de compartilhamento que motiva a criação de IDEs pode ser estendido para promover a criação de *comunidades de prática*, nas quais um tema central é abordado em vários níveis de complexidade e detalhe. No nosso exemplo da Amazônia, existe claramente a necessidade de melhorar a disseminação de informação não apenas entre membros do mesmo grupo de atores (cientistas, formuladores de políticas, cidadãos), mas também entre grupos. O recente fenômeno das comunidades de interação social *online* demonstra que esse tipo de integração é possível, e altamente desejável como meio de motivar as pessoas a participar e contribuir para resolver problemas reais.



**Figura 4 -- Comunidade de prática na visão Digital Earth**

Do nosso ponto de vista, o centro de uma comunidade de prática para um tópico tão amplo quanto a sustentabilidade da Amazônia deve estar situado dentro do paradigma da chamada *Digital Earth* (Craglia, Goodchild et al. 2008), que consiste em uma gama ampla de fontes de informação, desde dados cartográficos oficiais (IDE), até dados coletados em esforços de pesquisa, associados a publicações acadêmicas (Figura 4). Também deve abranger fontes estruturadas, tais como produtos de sensoriamento remoto, e fontes simplificadas e menos estruturadas, tais como contribuições voluntárias sobre temas de interesse para a comunidade. Navegadores geográficos (*geobrowsers*) podem

cumprir o papel de integradores das contribuições, e devem ser estendidos com dados científicos e elementos da legislação e das políticas oficiais.

#### 4. Conclusões

Neste artigo discutimos maneiras através das quais a tecnologia da informação pode ajudar a promover a sustentabilidade ambiental. Nosso foco foram os dados espaciais. Estudamos as infraestruturas de dados espaciais (IDE) tradicionais e suas limitações. Sugerimos também como seria possível incluir mais participantes nestas IDEs de modo a ampliar a participação pública na elaboração e controle de políticas ambientais.

Existem três áreas importantes a serem abordadas na modernização das IDEs. Primeira, o fluxo de dados e informações. Neste caso, a criação de mecanismos de participação voluntária é fundamental. Isso segue uma tendência chamada VGI (*volunteered geographic information*), que é facilitada pela tecnologia atual da Web. A segunda área é a semântica. O ambiente e sua preservação são áreas altamente ligadas a polêmicas e desentendimentos. Quando criamos modelos científicos em computador é necessário que se fique muito claro como foram criados esses modelos e quais são os significados de cada componente. Assim, o debate sobre o meio ambiente pode ocorrer com base científica e de forma democrática. Finalmente, discutimos as comunidades de prática



como um meio de se realizar essa conexão entre ciência e cidadão. Nessas comunidades os problemas ambientais podem ser discutidos, geridos e solucionados com ampla participação de diversos atores de nossa sociedade.

Vemos a Amazônia como uma área em que o modelo proposto poderia ser idealmente aplicado. Uma “Amazônia Digital” usaria boa parte dos recursos atuais da Web 2.0, da Web geoespacial, e de interação social, tais como *wikis*, *geotagging*, blogs, distribuição de conteúdo, serviços baseados em localização, sistemas de reputação e redes de recomendação. No entanto, a maioria dessas ferramentas precisaria ser adaptada para a concepção *Digital Earth*, através de recursos para a localização geográfica de todas as atividades e contribuições. Esperamos que uma nova geração de recursos de integração semântica possa enriquecer a construção das comunidades, provendo a tradução de conceitos, conexões com recursos educacionais, e descoberta de serviços e aplicações.

### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da FAPEMIG, da FAPESP e do CNPq, particularmente do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para a Web (CNPq processo 573871/2008-6), a suas atividades de pesquisa.

### Referências

- Alameh, N. (2003). "Chaining geographic information Web services." *IEEE Internet Computing* 7(5): 22-29.
- Alves, D. (2002). "Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia." *International Journal of Remote Sensing* 23(14): 2903-2908.
- Bernard, L. and M. Craglia (2005). SDI - From Spatial Data Infrastructure to Service Driven Infrastructure. Research Workshop on Cross-Learning Between Spatial Data Infrastructures and Information Infrastructures, Enschede, The Netherlands.
- Clark, W. C. (2007). "Sustainability Science: A room of its own." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104(6): 1737.
- Clark, W. C. and N. M. Dickson (2003). Sustainability science: The emerging research program. *Proceedings of the National Academy of Sciences, National Acad Sciences*. 100: 8059-8061.
- Craglia, M., M. F. Goodchild, et al. (2008). "Next-Generation Digital Earth." *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research* 3: 146-167.
- Davis Jr, C. A., F. Fonseca, et al. (2009 (to appear)). Understanding Global Change: The Role of Geographic Information Science in the Integration of People and Nature. *SAGE Handbook of GIS and Society*. T. Nyerges, H. Couclelis and R. B. McMaster, SAGE.
- Davis Jr., C. A. (2008). Spatial Data Infrastructures. *Encyclopedia of Information Science and Technology*. M. Khosrow-Pour. Hershey, Pennsylvania, USA, IGI Global. VII: 3548-3553.
- Davis Jr., C. A. and L. L. Alves (2007). Geospatial Web Services. *Encyclopedia of GIS*. S. Shekhar and H. Xiong. Berlin, Germany, Springer-Verlag: 1270-1273.
- de Man, W. H. E. (2006). "Understanding SDI: complexity and institutionalization." *International Journal of Geographic Information Science* 20(3): 329-343.

- Ferris, C. and J. Farrell (2003). "What Are Web Services?" *Communications of the ACM* **46**(6): 31.
- Fonseca, F. and J. Martin (2005). Play as the Way Out of the Newspeak-Tower of Babel Dilemma in Data Modeling. *The 26th International Conference on Information Systems*, Las Vegas.
- Fonseca, F. T. (2008). Spatial Data Infrastructure. *Encyclopedia of GIS*. S. X. Shekhar, Hui London ; New York, Springer.
- Granell, C., M. Gould, et al. (2005). Service Composition for SDIs: integrated components creation. 2nd International Workshop on Geographic Information Management (GIM'05), Copenhagen, Denmark.
- INSPIRE (2002). INSPIRE Architecture and Standards Working Group, INSPIRE Architecture and Standards Position Paper. Brussels, Commission of the European Communities.
- Jacoby, S., J. Smith, et al. (2002). "Developing a common spatial data infrastructure between State and Local Government -- an Australian case study." *International Journal of Geographic Information Science* **16**(4): 305-322.
- Kates, R. W., W. C. Clark, et al. (2001). Environment and Development: Sustainability Science. *Science*. **292**: 641-642.
- Klopper, M. (2005). Interoperability & Open Architectures: an analysis of existing standardisation processes & procedures. OGC White Paper. O. G. Consortium, Open Geospatial Consortium: 26p.
- Maguire, D. J. and P. A. Longley (2005). "The emergence of geoportals and their role in spatial data infrastructures." *Computers, Environment and Urban Systems* **29**(1): 3-14.
- Masser, I. (2005). *GIS Worlds: creating spatial data infrastructures*. Redlands, CA, ESRI Press.
- Moore, R. (2007). "Raising Global Awareness with GoogleEarth." *Imaging Notes* **22**(2): 24-29.
- Papazoglou, M. P. and D. Georgakopoulos (2003). "Service-Oriented Computing." *Communications of the ACM* **46**(10): 25-28.
- Phillips, A., I. Williamson, et al. (1999). "Spatial Data Infrastructure concepts." *The Australian Surveyor* **44**(1): 20-28.
- Rajabifard, A., I. P. Williamson, et al. (2000). From Local to Global SDI Initiatives: a pyramid of building blocks. 4th Global Spatial Data Infrastructure Conference, Cape Town, South Africa.
- Saab, D. J. (2008). An Ethnorelative Framework for Information Systems Design. *Proceedings of the 14th Americas Conference on Information Systems*, Toronto, Canada.
- Saab, D. J. and F. Fonseca (2008). *Ontological Complexity and Human Culture. Philosophy's Relevance in Information Science*, Paderborn, Germany.
- Tait, M. G. (2005). "Implementing geoportals: applications of distributed GIS." *Computers, Environment and Urban Systems* **29**(1): 33-47.