

UMA ARQUITETURA PARA A INTEGRAÇÃO E INTEROPERABILIDADE DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Celso Roberto Perez ^{ψλ}, Ana Carolina Salgado ^ψ

^ψ Centro de Informática - UFPE
Caixa Postal 7851 - CEP 50732-970 - Recife -PE – Brasil
Tel: +55 81 3271-8430, Fax: +55 81 3271-8438
e-mail: {crp, acs}@cin.ufpe.br

^λ Faculdade Integrada do Recife
Av. Eng. Abdias de Carvalho 1678, Recife – PE – Brasil
Tel: +55 81 3227 8300, Fax: +55 81 3446 6840
e-mail : celsop@fir.br

ABSTRACT

In the field of Geographical Information Systems (GIS), the interoperability is seen as a problem associated with the formalization of the geographic concepts in the digital systems, facing semantic problems derivatives of the use of different models of data. Thus, one of the main features of the next generation of GIS will be to share information from different sources. For this, is necessary to incorporate to the GIS the philosophy of open systems. Otherwise, nowadays is widely accepted that the hypermedia functionalities can to play a very important role as underlying component (linking/relationship) in an information system. Systems as the WWW (World Wide Web) have illustrated as the global access to the information is crucial. For many, the WWW was the way through which was introduced the concept of Open Hypermedia Systems (OHS), demonstrating its potential to supply a paradigm integrated and unified of organization of the information.. Thus, leading in consideration the problem of interoperability and integration of GIS, and the features and functionalities offered for the Open Hypermedia Systems, in this paper is to present OHGIS (Open Hypermedia Geographical Information System), an alternative architecture for GIS, using the OHS filosofy as central paradigm for the definition of this architecture.

Keywords: Geographical Information Systems, Open Hypermedia Systems, Interoperability, Open Systems.

RESUMO

Na área de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), a interoperabilidade é vista como um problema associado à formalização dos conceitos geográficos nos sistemas digitais, enfrentando problemas semânticos derivados do uso de diferentes modelos de dados. Assim, uma das principais características da próxima geração de SIGs será **compartilhar** informações de diferentes fontes. Para isso, se necessita incorporar aos SIGs a filosofia de **sistemas abertos**. Por outro lado, hoje em dia é amplamente aceito que as funcionalidades hipermídia podem cumprir um papel muito importante como componente subjacente (ligação/relacionamento) num sistema de informação. Sistemas como a WWW (*World Wide Web*) têm ilustrado como é crucial o acesso global à informação. Para muitos, a WWW foi o meio através do qual se introduziu o conceito de Sistemas Hipermídia Abertos (SHA), demonstrando seu potencial para fornecer um paradigma integrado e unificado de organização da informação. Como consequência, levando em consideração tanto o problema de interoperabilidade e integração dos SIG's, quanto as características e funcionalidades oferecidas pelos SHA, neste trabalho é apresentada *SIGHA (Sistema de Informações Geográficas Hipermídia e Aberto)*, uma arquitetura alternativa para SIGs, utilizando os SHA como paradigma central para a definição desta arquitetura.

Palavras Chave: Sistemas de Informações Geográficas, Sistemas Hipermídia Abertos, Interoperabilidade, Sistemas Abertos.

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, nota-se uma crescente necessidade por sistemas computacionais para aplicações que envolvam informações com características espaciais ou geográficas. Com a finalidade de suprir tais necessidades, surgiram os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's ou *GIS's*, *Geographical Information Systems*) [17]. Estes sistemas possuem, em diversos graus de sofisticação, as funcionalidades necessárias para a manipulação e a gerência de dados espaciais.

No passado, os SIGs usavam estruturas de dados proprietárias, fechadas, adaptadas para suportar tipos específicos de dados científicos, como mapas ou imagens de satélite armazenados no sistema [15, 17]. Mais recentemente, facilidades de gerenciamento de banco de dados, tais como suporte a multi-usuários, processamento de grandes volumes de dados e gerenciamento de informações distribuídas estão sendo reconhecidas como requerimentos importantes para um Sistema de Informações Geográficas eficiente e eficaz [1].

Infelizmente, os atuais SGBDs comerciais não suportam adequadamente aplicações de SIGs complexas que incluam dados com características espaciais (3-D), pictóricas e até temporais. Como consequência, atualmente existe uma grande atividade de pesquisa na área de SIGs por parte da comunidade de Ciência da Computação.

Uma parte das pesquisas está concentrada nas tecnologias de banco de dados extensíveis que podem ser usadas para encapsular métodos de acesso complexos sobre objetos de dados espaciais não estruturados [1].

Uma outra parte dos trabalhos está focalizada nas interfaces visuais apropriadas e nas linguagens de consulta para navegar através de conjuntos de informações altamente não estruturadas [7].

Uma parte das pesquisas mais recentes está concentrada na definição e implementação de arquiteturas apropriadas para a **interoperabilidade** e **integração** de diferentes SIGs [5]. Um aspecto importante desta proposta é incorporar aos SIGs a filosofia de "sistemas abertos", adotada por muitos outros sistemas de informações.

Assim, entre as características mais importantes dos futuros SIGs está a necessidade de compartilhar informações de diferentes fontes com o objetivo de não duplicar os dados existentes e de beneficiar-se com as atualizações de outros bancos de dados. Por isso, conectar e compartilhar os SIGs será a maior mudança no futuro próximo [12, 14].

Por outro lado, hoje em dia é amplamente aceito que as funcionalidades hipermídia podem cumprir um papel muito importante como componente subjacente (serviço de ligação/relacionamento) num sistema de informação. Estes tipos de sistemas, originalmente vislumbrados por Nelson [8], têm sido descritos por vários autores e sua aplicabilidade amplamente demonstrada e ilustrada [13].

A maioria dos sistemas hipermídia tem falhado em direcionar as necessidades de compartilhamento e intercâmbio de informações à escala global. Como consequência, os usuários desses sistemas estão condicionados a operar isoladamente, criando ilhas de informação. Por isso, o futuro (ou presente) dos sistemas hipermídia está na adoção do conceito de "sistemas abertos", que trabalham através de diferentes arquivos, plataformas e limites geográficos.

Por sua vez, sistemas como a *WWW* (*World Wide Web*) [19] têm ilustrado como é crucial o acesso global à informação para a comunidade de usuários Internet. Para muitos, a *WWW* foi o meio através do qual se introduziu o conceito de Sistemas Hipermídia Abertos - *SHA* (*OHS: Open Hypermedia Systems*) [11], demonstrando seu potencial para fornecer um paradigma integrado e unificado de organização da informação.

Porém, à medida que a *WWW* foi crescendo, se tornou evidente que a simplicidade de seu modelo hipermídia subjacente é inadequada para, além de oferecer acesso à informação, incorporar outras características mais avançadas, como gerenciamento da informação, descoberta de caminhos, navegação dinâmica, etc. Por isso, parte da comunidade científica em Ciência da Computação está concentrando seus esforços na área de *SHA*, para tentar resolver estes problemas.

Como consequência, levando em consideração tanto os problemas e as necessidades, em relação à interoperabilidade e integração dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), quanto as características e funcionalidades oferecidas pelos Sistemas Hipermídias Abertos (*SHA*), neste trabalho é apresentada *SIGHA* (*Sistema de Informações Geográficas Hipermídia e Aberto*), uma arquitetura que permite o acesso aberto e distribuído à informação geográfica, utilizando os *SHA* como paradigma central para a sua definição [14].

Esta arquitetura fornece um ambiente flexível e fácil de usar para a integração de dados e aplicações, permitindo a escolha de vários recursos de computação para a resolução de problemas. Com a definição de *SIGHA*, se permite a participação de um conjunto aberto de aplicações SIGs nos serviços hipermídia oferecidos pela arquitetura, suportando também um conjunto aberto de formatos e modelos de dados.

O restante do trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2 é tratado o problema da interoperabilidade e integração de SIGs, os motivos pelos quais é desejável resolvê-lo e o que se pretende obter com sua solução.

Na seção 3 são identificadas as principais características dos Sistemas Hiperídia Abertos, consideradas importantes para a resolução do problema em questão, justificando o porque deste paradigma para a definição de uma arquitetura SIG interoperável.

Na seção 4, é apresentada a arquitetura *SIGHA*, identificando suas principais características e funcionalidades, a abordagem utilizada para a sua definição, a metodologia utilizada para sua elaboração e o processo de concepção dos diferentes componentes da arquitetura.

Na seção 5 é feita uma comparação entre *SIGHA* e outras propostas de solução ao problema de interoperabilidade de *SIGs*. Finalmente, na seção 6 são apresentadas as conclusões do presente trabalho.

2 O PROBLEMA DE INTEROPERABILIDADE EM SIGs

Como foi visto na seção anterior, a interoperabilidade em *SIGs* é vista como um problema associado à formalização dos conceitos geográficos nos sistemas digitais. Devido ao fato de existirem muitas opções para a formalização dos conceitos geográficos, não é fácil o intercâmbio de informações entre sistemas.

Interoperabilidade e integração de *SIGs* enfrenta vários problemas, dentre os quais pode-se mencionar:

- Problemas semânticos, derivados do uso de diferentes modelos de dados espaciais;
- Problemas com as estruturas de dados internas, as quais são tratadas por cada fabricante de software de forma confidencial e proprietária;
- Problemas no projeto dos *SIGs*, que são construídos como um bloco único, no qual são controladas todas as operações possíveis sobre os dados [14].

Desta forma, uma das características mais importantes da próxima geração de *SIGs* será compartilhar informações de diferentes fontes. Para isso, é necessário incorporar aos *SIGs* a filosofia de sistemas abertos ou de projeto de software aberto para poder definir uma arquitetura que crie uma visão unificada das fontes de dados e para que as aplicações dos usuários possam ser desenvolvidas sem se preocupar com a distribuição ou heterogeneidade dos conjuntos de dados [14].

Os motivos pelos quais é desejável atingir a interoperabilidade em *SIGs* são vários, dentre os quais pode-se mencionar:

- A interoperabilidade oferece uma possível forma de fazer os *SIGs* mais úteis e acessíveis para a pesquisa científica, eliminando a necessidade de ter técnicas complexas que tratem das incompatibilidades entre diferentes sistemas.

- Ao invés de tomar uma decisão “*a priori*” a cerca de quais funcionalidades devem ser incorporadas num sistema, um ambiente aberto e interoperável permitirá que os usuários combinem componentes de forma *ad-hoc*, fornecendo, além de uma grande flexibilidade para os usuários, a possibilidade de que eles se concentrem exclusivamente nas tarefas que desejam executar.

- Implementação rápida de novas funcionalidades e ferramentas, pois as mesmas serão adicionadas como módulos que ficarão disponíveis para serem usados pelas aplicações.

- Redução dos custos associados com a aquisição, gerenciamento, manutenção, conversão, modelagem e outras operações sobre os dados.

- Minimização da duplicidade dos dados.

- Redução do esforço de manter e gerenciar os dados.

- Facilidade das atividades de desenvolvimento das aplicações.

- Fornecimento de um ambiente de computação flexível com acesso a vários recursos computacionais.

Para usufruir de todos estes benefícios, o objetivo é definir um ambiente interoperável, baseado em *SHA*, que seja flexível e fácil de usar para a integração de diferentes aplicações e repositórios de dados para *SIGs*, permitindo a escolha de vários recursos de computação para a resolução de problemas. Este ambiente está formado por três componentes: dados, aplicações e processamento *SIG* interoperável.

Para conseguir este ambiente, neste trabalho é apresentada *SIGHA*, uma arquitetura alternativa baseada no paradigma dos Sistemas Hipermídia Abertos, que permite o acesso aberto e distribuído à informação geográfica. A seguir justifica-se o porque da escolha dos Sistemas Hipermídia Abertos como paradigma central para a definição de *SIGHA*.

3 SHA E O PROBLEMA DE INTEROPERABILIDADE EM SIGs

Os motivos que levaram a considerar a filosofia dos Sistemas Hipermídia Abertos como solução aos problemas de integração e interoperação dos Sistemas de Informações Geográficas são muitos e já foram citados na tese de Doutorado do autor [14]. Porém, neste trabalho serão enumeradas apenas as principais características e princípios que nos levaram a propor os *SHA* como paradigma para a construção de uma arquitetura conceitual que suporte a interoperabilidade e integração de *SIGs*.

Os *SHA* são sistemas que suportam a construção e navegação de estruturas associativas, permitindo aos usuários manipular grandes quantidades de dados, ao contrário dos sistemas que fornecem somente esquemas de indexação mecânicos e artificiais. A arquitetura atual destes sistemas pouco lembra as arquiteturas monolíticas dos primeiros sistemas. O campo hipermídia de hoje centra suas pesquisas em termos de um conjunto aberto de componentes de *middleware* que oferecem abstrações estruturais para um conjunto aberto de aplicações cliente.

Estes sistemas geralmente são categorizados como fornecedores de serviços *middleware*, pois reúnem os requisitos de uma ampla variedade de aplicações, rodam sobre múltiplas plataformas, são distribuídos e publicam seus protocolos de comunicação e *APIs*.

Dessa forma, algumas das principais características destes sistemas, que justificam a proposta de utilizá-los como paradigma para a construção de uma arquitetura conceitual que suporte a interoperabilidade e integração de *SIGs*, são:

- Favorecem a construção de uma arquitetura modular, extensível e flexível por serem sistemas com um “projeto aberto”.
- Oferecem acesso *on-line* coordenado aos dados geográficos contidos em múltiplas fontes de dados e a serviços contidos em diferentes aplicações.
- Possibilitam o reuso destes dados e serviços.
- Permitem que as aplicações compartilhem processos e dados.
- Permitem a participação de um conjunto aberto de aplicações nos serviços hipermídia, suportando também um conjunto aberto de formatos e modelos de dados. Isto é possível pela separação feita entre conteúdo e estrutura. Um *SHA* impõe apenas um formato de estrutura específico sobre as aplicações. Permitir que tais aplicações, em especial as aplicações geográficas, armazenem os conteúdos em diferentes formatos é um requisito básico para a integração e uso das aplicações existentes.

Um outro ponto importante que motivou a escolha dos *SHA* é a série de serviços que através desta tecnologia podem ser definidos e oferecidos, os quais certamente são soluções desejáveis para vários dos problemas envolvidos na interoperabilidade e integração de *SIGs*. Estes serviços são:

Integração: Uma arquitetura baseada nos *SHA* é capaz de integrar: serviços existentes, como *scripts*, programas e agentes; aplicações, como editores, aplicações geográficas, etc. e repositórios de dados, tais como bancos de dados, hiperbases e sistemas de arquivos.

Interoperabilidade: O *SHA* fornece meios para a interoperação tanto com outros *SHA* quanto com os serviços, aplicações e repositórios integrados no sistema.

Estruturação: O ambiente oferece um conjunto de serviços de estruturação hipermídia (como âncoras, links, nós de conteúdo, nós de composição, definições de apresentação e identificação de localização, etc.), que favorece a autoria de aplicações e o gerenciamento e manutenção da informação interoperável contida tanto na arquitetura *SIGHA* quanto nos diferentes *SIGs* integrados ao ambiente.

Navegação: Os serviços de estruturação hipermídia permitem a definição e implementação de um conjunto completo de serviços de navegação (percurso de links, consultas, *overviews* gráficos, mapas globais e locais, *guided tours*, etc.) que favorecem o tratamento e a consulta dos dados integrados.

Distribuição: A própria arquitetura *SIGHA*, assim como os serviços, aplicações e repositórios de dados integrados é capaz de rodar sobre diferentes máquinas interligadas em rede.

Colaboração: O ambiente interoperável baseado nos *SHA* pode fornecer suporte para a autoria colaborativa tanto dos conteúdos quanto da estrutura hiperfídia. Para isso, deverão ser suportados diferentes modos de colaboração (trabalho síncrono e assíncrono, por exemplo).

Extensibilidade: A arquitetura *SIGHA* fornece extensibilidade em dois níveis. O primeiro, em relação aos dados, tanto através da integração de todos os documentos e tipos de arquivos presentes nas aplicações integradas, quanto através da flexibilidade para a incorporação de novos tipos de documentos e arquivos. O segundo nível de extensibilidade é em relação aos serviços, onde tanto novos módulos e funções quanto aplicações poderão ser adicionados à arquitetura, para assim estender o sistema e as funcionalidades oferecidas aos usuários.

Escalabilidade: A arquitetura fornece uma série de funcionalidades que permitem atender um número qualquer de usuários (aplicações) registrados nela. Estas funcionalidades permitem, por exemplo, ter um controle dos contextos associados com as aplicações e das chamadas de serviços que estão em andamento.

Finalmente, a arquitetura *SIGHA*, ao contrário dos *SIGs* atuais que são sistemas monolíticos e “fechados”, favorece a prototipagem rápida de novas idéias, funcionalidades e ferramentas, permitindo que este ambiente modular e aberto possibilite tanto o rápido desenvolvimento dos *SIGs* como plataforma de pesquisa, quanto um melhor aproveitamento das aplicações e fontes de dados distribuídos.

4 A ARQUITETURA *SIGHA*

Como foi visto nas seções anteriores, a proposta concreta deste trabalho é definir a arquitetura *SIGHA*, baseada no paradigma dos *SHA*, que tem como objetivo resolver os problemas de interoperabilidade e integração de *SIGs*.

Em [14], é demonstrado que a maioria das soluções para o problema de interoperabilidade de *SIGs* oferece acesso a diferentes fontes de dados distribuídas, através do uso de catálogos, conversores, metadados ou *drivers* específicos para cada tipo de dado. Uma vez localizado o dado de interesse através da consulta a um catálogo, o sistema ou arquitetura recupera a informação (formatando-a ou traduzindo-a para o tipo apropriado) e a disponibiliza para o usuário.

Em contrapartida, *SIGHA* além de oferecer acesso a diferentes fontes de dados geográficos distribuídas, permite disponibilizar, consultar e utilizar diferentes serviços de geoprocessamento cadastrados pelas aplicações integradas por *SIGHA* sem impor nenhum tipo de reformatação, realocação, nem alteração das fontes de dados e serviços. E o que é mais importante, permite a construção de estruturas hiperfídia entre diferentes fontes de dados e documentos, criando contextos particulares para usuários (ou grupos de usuários) de aplicações *SIGs* específicas. Com isto, permite a navegação, associação e pesquisa das diferentes estruturas criadas.

Resumindo, *SIGHA* fornece uma série de funcionalidades e serviços a um conjunto aberto de aplicações *SIGs*, suportando também um conjunto aberto de fontes de dados, tudo isto de uma forma distribuída e aberta. Para isto, as principais responsabilidades desta arquitetura são:

- O gerenciamento das aplicações que participam do ambiente integrado.
- O gerenciamento dos diferentes servidores que formam a arquitetura, disponibilizando as informações relacionadas aos serviços oferecidos por estes servidores.
- O cadastro e gerenciamento dos serviços oferecidos pelas diferentes aplicações cadastradas no ambiente.
- O cadastro e gerenciamento dos metadados associados aos dados e fontes de dados integradas no ambiente.
- O gerenciamento de todas as estruturas hiperfídia criadas pelos usuários (links, âncoras, nós, pontos finais, contextos, etc.), assegurando a consistência destas estruturas frente a possíveis modificações (mantendo um modelo destas estruturas criadas pelas aplicações cliente).

Desta forma, a arquitetura é distribuída em termos de execução e dados. Ela somente impõe um formato de estrutura específico às aplicações subjacentes, mas os conteúdos ficam a critério de cada aplicação. A definição desta arquitetura permite tanto a interoperabilidade quanto a integração de diferentes *SIGs*, possibilitando também o oferecimento, numa forma flexível e extensível, das funcionalidades e serviços hiperfídia.

Dessa forma, *SIGHA* é um ambiente modular e aberto, mais precisamente um *middleware* adaptável e escalável, onde a idéia principal não foi desenvolver um sistema completo, e sim construir uma infraestrutura envolvendo as mais novas tecnologias. A figura 1 ilustra todos os tópicos envolvidos no problema de interoperabilidade de *SIGs* (identificados em [14]) e as possíveis soluções aos mesmos, mostrando onde se encaixa a arquitetura *SIGHA* proposta.

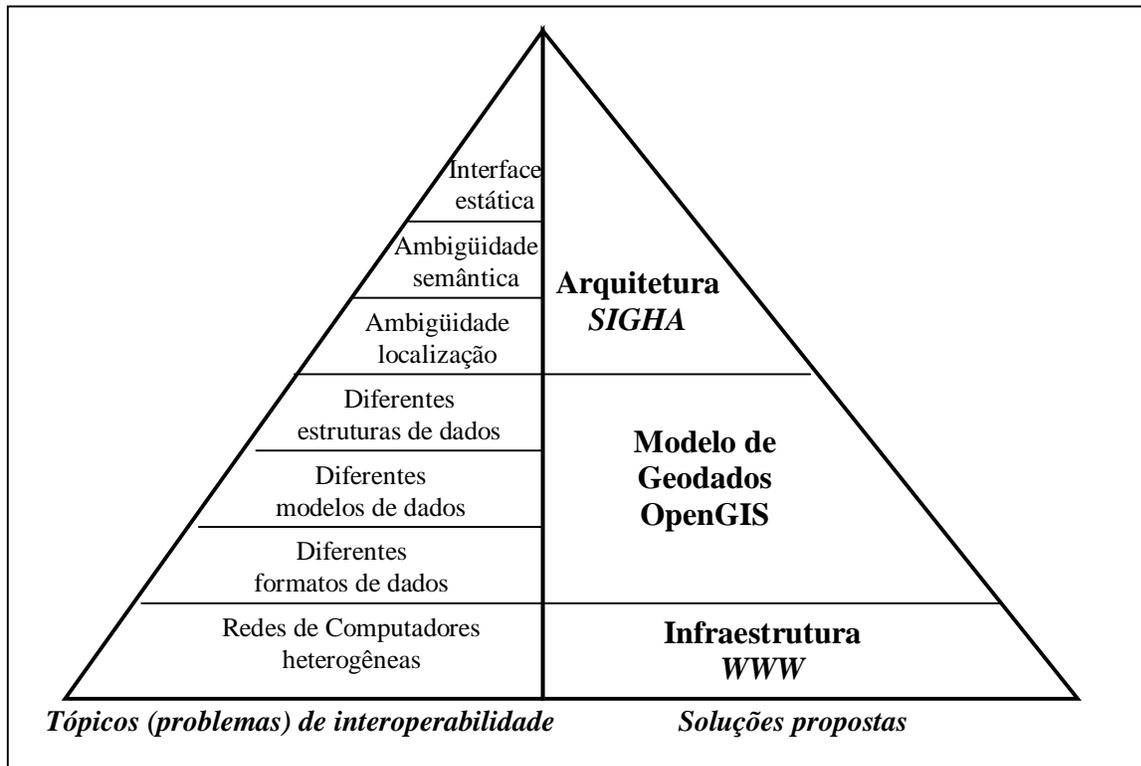


Figura 1: Interoperabilidade em SIGs e soluções propostas.

a) Redes de computadores heterogêneas:

Uma variedade de plataformas de hardware e software são utilizadas para o gerenciamento dos dados espaciais por parte de fornecedores e comerciantes dos mesmos. Os usuários também têm seus próprios hardware e software para acessar e processar estes dados. Como este tópico não é parte deste trabalho, e para neutralizar os efeitos desta heterogeneidade, assume-se que numa futura implementação de SIGHA será utilizada a infraestrutura web, principalmente para explorar as comunicações cliente-servidor.

b) Estruturas, modelos e formatos de dados heterogêneos

Os dados estão armazenados freqüentemente em diferentes formatos, os quais podem tornar-se inacessíveis para algumas aplicações. Uma outra incompatibilidade pode ser atribuída ao uso de diferentes modelos para a representação da realidade geoespacial. Para complicar mais ainda, o mesmo modelo pode armazenar os dados em diferentes estruturas. Uma forma de resolver isto é adotando e implementando os modelos de dados de OGIS [10], que ocultam os formatos de arquivos nativos, acessando as bibliotecas como objetos OGIS e traduzindo os dados para formatos OGIS. A escolha destes modelos deve-se a que os mesmos estão sendo considerados padrões na área de modelagem de dados espaciais.

c) Ambigüidade de localização

A ambigüidade de localização é gerada pela natureza distribuída e heterogênea das fontes de dados e serviços integrados no sistema. Quando uma aplicação deseja utilizar um dado específico, ou um determinado serviço, como localizá-lo de forma eficiente e precisa? A forma de resolver isto na arquitetura SIGHA é através da definição do *Servidor de Integração de Aplicações*, que é definido em detalhe e especificado em [14].

d) Ambigüidade semântica

Ambigüidade semântica existe quando diferentes significados são associados ao mesmo termo, ou quando diferentes termos significam a mesma coisa. Termos são usados para atribuir significado aos objetos geoespaciais, e os relacionamentos semânticos entre termos podem ser expressados formalmente como esquemas.

Aqui pode-se dizer que uma solução para este problema é fornecer um melhor suporte para o tratamento de metadados, porque: **1)** esquema de metadados representa visões particulares e captura a semântica de diferentes grupos de dados geoespaciais, **2)** múltiplos esquemas existem para descrever o conteúdo de dados geoespaciais, e **3)** este esquema evoluirá através do tempo, na medida em que os dados geoespaciais crescem em distribuição e os usuários se tornam mais especializados e sofisticados em suas aplicações. Para resolver este tópico, na arquitetura SIGHA são

definidos o *Servidor de Metadados* e o *Servidor de Serviços*, cada um gerenciando os metadados sobre os dados e sobre os serviços, respectivamente. Estes servidores são definidos em detalhe e especificados em [14].

e) Interfaces estáticas

A maneira na qual a informação geoespacial é apresentada ao usuário pode afetar significativamente o entendimento de como ela pode ser usada. Atualmente existem muitos *browsers* na *web* que permitem ao usuário “folhear” dados geoespaciais. Porém, a maioria deles apresenta uma visão estática dos dados, onde a formatação da informação em relação a um objeto geoespacial não se adapta bem aos dados ou às visões preferidas dos usuários.

Para este tópico, em *SIGHA* é definido o *Servidor de Navegação*, que através do suporte de estruturas hipermídia, possibilitará explorar uma variedade de “visões” para controlar uma apresentação interativa através do “cliente *SIGHA*”, utilizando técnicas como: mapas conceituais, mapas dinâmicos interativos, visões hierárquicas de redes hipermídia, reconhecimento de estruturas espaciais implícitas, hipermapas, etc.

4.1 Abordagem para a definição da arquitetura

A abordagem para a definição da arquitetura *SIGHA* teve os seguintes passos:

- **Primeiro:** Avaliação tanto do domínio do problema quanto às suas características. Esta avaliação é dividida em duas partes: identificação dos paradigmas e definição dos meta-objetos.

Em relação aos paradigmas, foi identificado que o acesso navegacional às informações integradas à arquitetura é a principal característica a ser levada em consideração. Por isso, um dos paradigmas a ser suportado é o navegacional. Outra característica também identificada neste primeiro passo foi que para poder dar um melhor suporte ao paradigma navegacional, necessitava-se tanto de suporte a metadados, os quais estariam relacionados às fontes de dados externas associadas ao ambiente, quanto de suporte a processos e serviços disponíveis no ambiente que permitiam o processamento dessas fontes de dados cadastradas.

Uma vez que os paradigmas foram identificados, o próximo passo foi definir as abstrações necessárias para suportar os mesmos, ou seja, a identificação e definição dos objetos e classes de objetos necessários para o fornecimento das funcionalidades identificadas anteriormente.

- **Segundo:** Como a arquitetura está baseada nos princípios dos sistemas abertos, ela tinha que ser desenvolvida com um “projeto aberto”, e para isso uma opção era utilizar *frameworks* orientados a objetos. Segundo [4], *frameworks* orientados a objetos são compostos de classes abstratas e concretas e fornecem um modelo de interação ou colaboração entre as instâncias das classes definidas no *framework*.

Dessa forma, o que foi realizado neste passo foi a classificação das classes de objetos identificadas no passo anterior como abstratas ou concretas, e a definição de um modelo de interação ou colaboração entre elas. A figura 2 apresenta a relação entre as tecnologias de Engenharia de Software utilizadas neste processo, e as características que cada uma delas oferece.

- **Terceiro:** uma vez definido o modelo de interação ou colaboração, o próximo passo foi a organização do sistema de software. Para isso, foram identificados os elementos estruturais e suas interfaces, seu comportamento, especificado pela colaboração entre estes elementos, a composição dos elementos estruturais e comportamentais em sub-sistemas, para finalmente definir o estilo arquitetural que guia a organização. Para todas estas atividades foi utilizado *UML (Unified Modeling Language)* [2].

Segundo esta metodologia, a arquitetura *SIGHA* pode ser descrita através de duas visões interligadas, onde cada uma delas é uma projeção da organização e estrutura do sistema concentrada num aspecto particular do mesmo:

1. Visão de *use case*: Descreve o comportamento do sistema como é visto pelos usuários finais (neste caso, as aplicações *SIGs*). Esta visão não especifica realmente a organização do sistema, e sim especifica as forças externas que dão forma à arquitetura. Em *UML* os aspectos estáticos desta visão são capturados pelos diagramas de *use case*. Os aspectos dinâmicos desta visão são capturados pelos diagramas de colaboração.

2. Visão de *projeto*: Descreve as classes, interfaces e colaborações que formam o vocabulário do problema e sua solução. Esta visão suporta os requisitos funcionais da arquitetura *SIGHA*, expressando os serviços que o sistema deve fornecer para seus usuários finais. Em *UML*, os aspectos estáticos desta visão são capturados pelos diagramas de classes. Os aspectos dinâmicos são capturados pelos diagramas de colaboração.

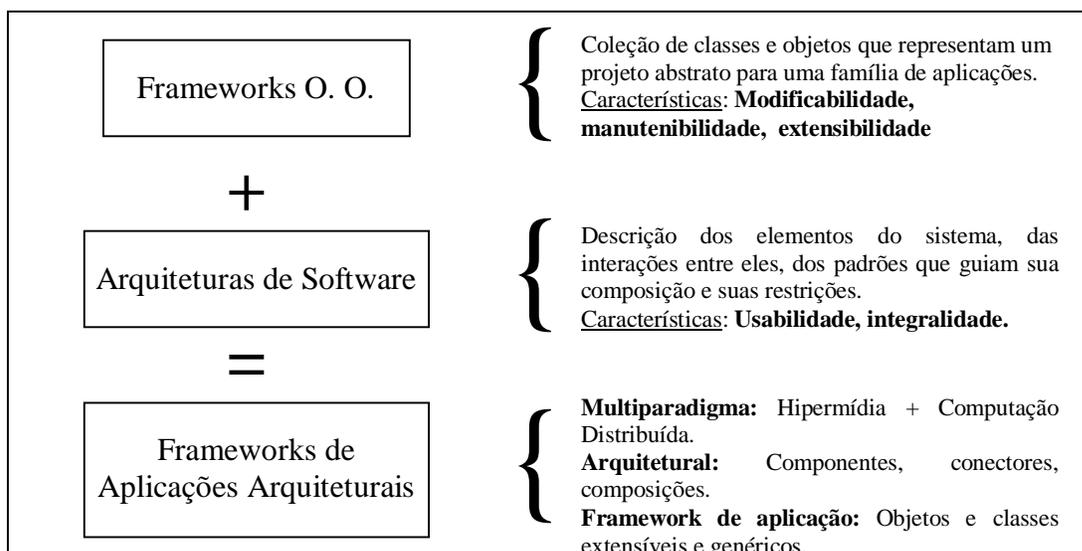


Figura 2: Tecnologias de E.S. usadas para a definição de *SIGHA*.

4.2 Concepção da arquitetura

Como foi expressado em seções anteriores, *SIGHA* é um *middleware* adaptável e escalável, onde a idéia principal é que um conjunto aberto de aplicações *SIG* tenham acesso aberto a um conjunto de repositórios de dados distribuídos. A figura 3 apresenta uma primeira visão geral da arquitetura.

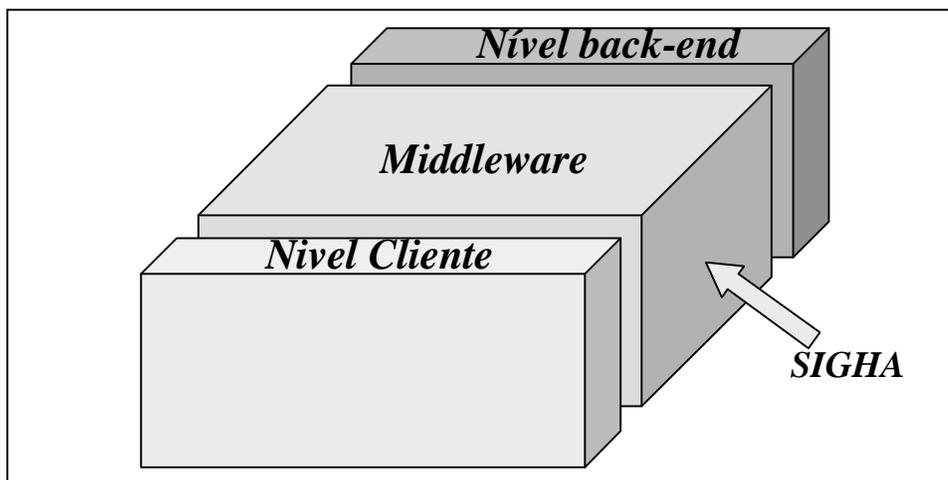


Figura 3: *SIGHA* como um *middleware* oferecendo serviços a um conjunto aberto de aplicações.

Segundo a figura 3, existem três níveis de funcionalidades. O nível *back-end* consiste do armazenamento de estruturas e fornece os serviços necessários a vários dos serviços estruturais. O nível *middleware* consiste de um conjunto aberto de componentes de *middleware* que fornecem diferentes serviços às aplicações. O nível cliente consiste de várias aplicações capazes de apresentar e editar conteúdos e estruturas. Na figura, também são identificadas duas interfaces, uma entre os serviços de *middleware* e as aplicações (interface cliente), e uma outra entre os serviços de *middleware* e o nível *back-end* (interface *back-end*).

Dessa forma, a arquitetura *SIGHA* oferece funcionalidades e serviços a um conjunto aberto de aplicações através de uma interface cliente. Estas funcionalidades são ortogonais àquelas oferecidas pelas próprias aplicações, aumentando a capacidade de processamento das mesmas.

Para isso, *SIGHA* está formada por uma série de componentes de *middleware*, cada um suportando um domínio específico e servindo um conjunto de abstrações específicas para esse domínio. Por sua vez, estes componentes

(servidores) devem armazenar estas estruturas e objetos (links, âncoras, contextos, catálogos, serviços, nós, etc.) em meios persistentes, os quais encontram-se no nível *back-end*.

Como a arquitetura *SIGHA* é uma arquitetura conceitual, genérica e simples, para poder fornecer um alto grau de abstração, ela deve tratar conceitos, elementos arquiteturais e interfaces. Dessa forma, ela poderá ser mapeada para várias implementações destes conceitos.

Por isso, como mostra a figura 4, a comunicação entre componentes pode acontecer de várias formas. Estes componentes podem receber requisições desde as aplicações (ou de outros componentes atendendo a pedidos das aplicações) ou aceder às fontes de dados externas utilizando diferentes plataformas de computação distribuída (*Java RMI*, *CORBA*, *TCP/IP*, *HTTP*), as quais são *frameworks* padronizados que certamente resolvem vários dos problemas de interoperabilidade de baixo nível identificados nas seções anteriores.

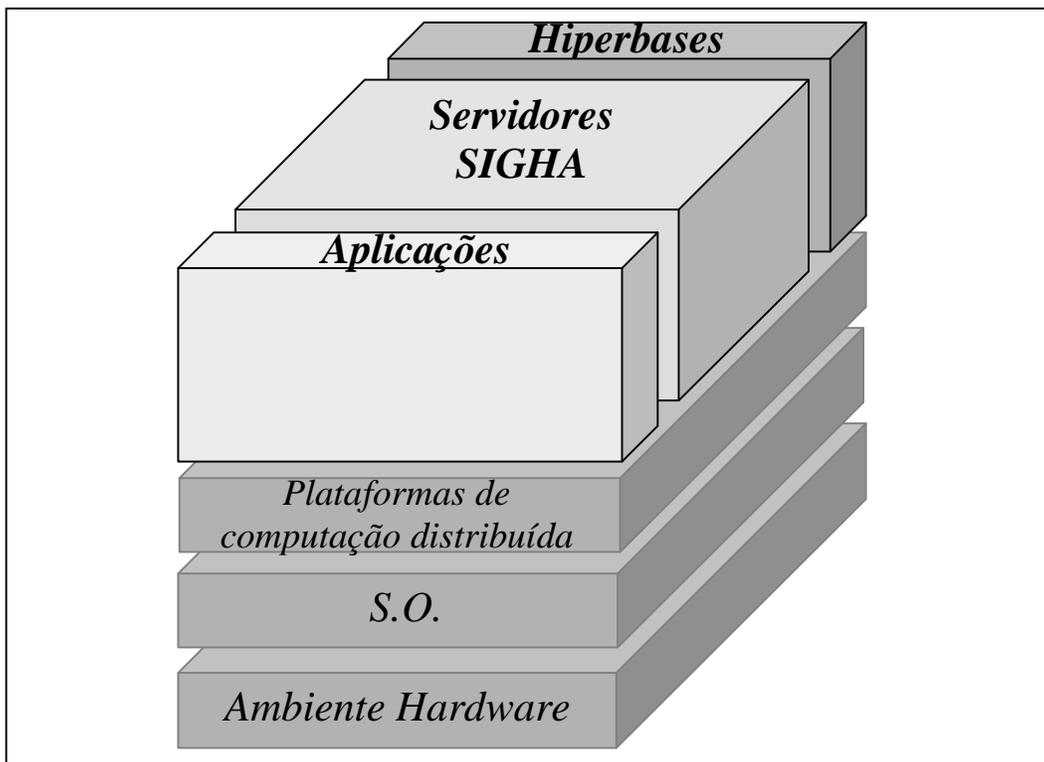


Figura 4: *SIGHA* e sua relação com as *PCD*.

O uso destes *frameworks* certamente auxilia no gerenciamento da distribuição, nomeação e localização, e permite que uma aplicação (ou um componente encapsulado que atua em nome da aplicação) se comunique com o *middleware*. Isto permite que os serviços de *middleware* sejam utilizados por aplicações heterogêneas simplesmente utilizando os protocolos correspondentes.

Também é permitido que os desenvolvedores de *middleware* adicionem futuramente seus próprios serviços, através de seus próprios componentes, que interoperarão com os outros componentes de diferentes formas, utilizando diferentes tecnologias e padrões. Dessa forma, as plataformas de computação distribuída poderão ser usadas para a implementação das interfaces e devem ser consideradas simplesmente como possíveis exemplos existentes na atualidade.

Por outro lado, no desenvolvimento de uma arquitetura de software orientada a objetos, como é o caso de *SIGHA*, o foco está na definição da infra-estrutura e da interface entre os componentes de software. Ou seja, esta definição contém:

- a-** a **organização** do sistema de software;
- b-** a definição dos **elementos estruturais** e suas **interfaces** que compõem o sistema;
- c-** o **comportamento**, especificado pela colaboração entre estes elementos;
- d-** a **composição** destes elementos em sub-sistemas;

e- **o estilo arquitetural** que guia a organização: os elementos estáticos e dinâmicos e suas interfaces, suas colaborações e sua composição.

A figura 5 apresenta em maior detalhe a arquitetura *SIGHA*, a qual consiste de quatro servidores: O **Servidor de Integração de Aplicações (SIA)**, o **Servidor de Navegação (SN)**, o **Servidor de Metadados (SM)** e o **Servidor de Serviços (SS)**.

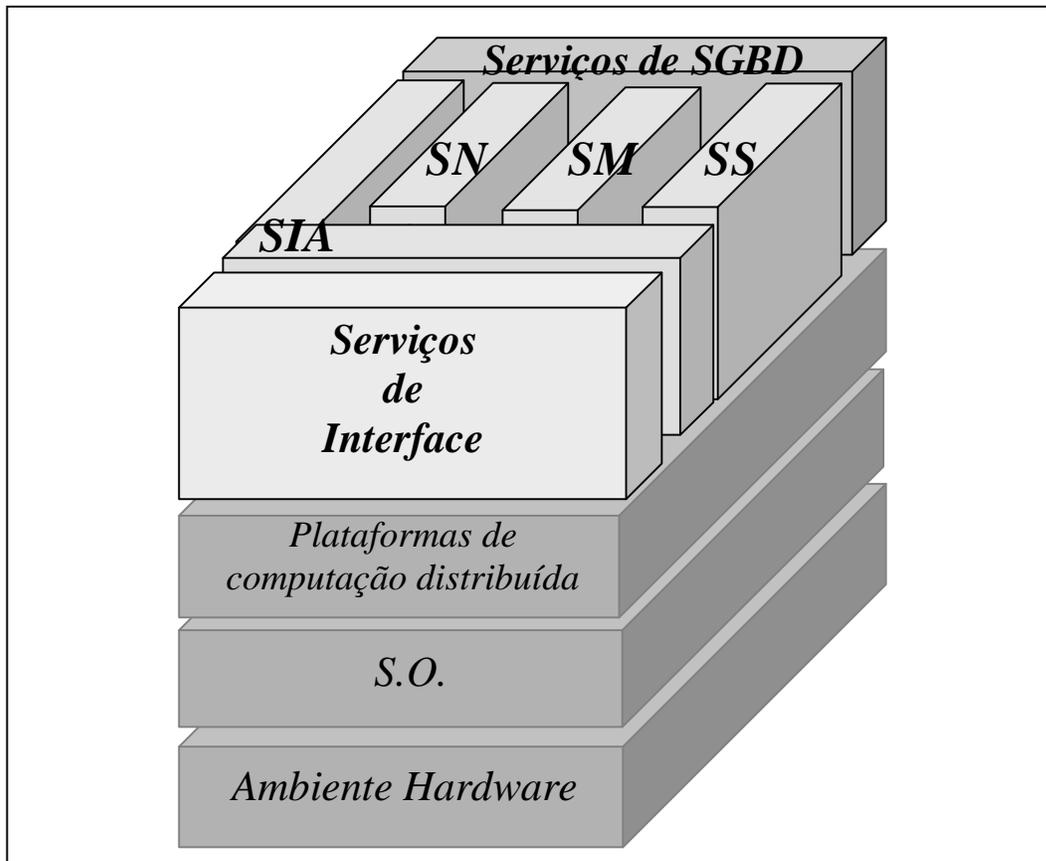


Figura 5: Componentes de SIGHA.

O **Servidor de Integração de Aplicações** é a porta de entrada da arquitetura *SIGHA* para as aplicações usuárias, disponibilizando uma interface unificada que é a união das interfaces dos Servidores de Navegação, de Metadados e de Serviços. Além destas interfaces, ela possui uma interface própria, na qual disponibiliza funcionalidades para registrar e gerenciar tanto as aplicações que estão utilizando *SIGHA* quanto os diferentes servidores que formam parte da arquitetura.

Ele também funciona como “integrador”, pois oferece uma visão unificada dos diferentes servidores da arquitetura, interage com as aplicações, recebe todos os pedidos de processamento delas, encaminha-os aos servidores apropriados, e retorna os respectivos resultados.

O importante deste servidor é oferecer um conjunto de serviços para serem utilizados pelas aplicações cliente numa forma independente de plataforma. Alguns destes serviços são: invocação de processos, rastreamento de usuários, provisão de serviços, serviço de localização, serviço de nomes e gerenciamento de conexões.

O **Servidor de Navegação** é composto pelo Servidor de Links e Servidor de Contextos os quais, juntos, fornecem um conjunto coerente de abstrações estruturais para as aplicações cliente. Este conjunto é coerente porque seus elementos formam um modelo estrutural particular.

Estas abstrações estruturais podem ser classificadas em duas categorias: *navegacional*, através do servidor de links, e *composicional*, através do servidor de contextos.

O **Servidor de Metadados** tem como objetivo gerenciar um conjunto de repositórios de metadados que descrevem e referenciam dados espaciais e não espaciais. Estes repositórios são chamados de catálogos e permitem a interoperabilidade entre diferentes tipos de dados.

Dependendo do contexto no qual são usados, os metadados podem existir implícita ou explicitamente como parte (ou separado) dos conjuntos de dados que eles descrevem. Aqui, na arquitetura *SIGHA*, é adotada a mesma filosofia que segue o modelo *OpenGIS* [10], na qual se considera os metadados como uma conceitualização que não entra em detalhes de implementação física, nem em termos de seus conteúdos, nem em termos de sua estrutura.

Para isso, o servidor de metadados é formado por outros dois servidores, um servidor de catálogos e um servidor de esquemas. O servidor de catálogos utiliza metadados para percorrer, buscar e recuperar *Unidades de Conteúdo*. O servidor de esquemas provê traduções entre atributos de diferentes esquemas de metadados para serem utilizadas pelo servidor de catálogos.

A principal função do servidor de catálogos é agir como mediador nas seguintes tarefas: apresentar metadescrições e relacionar elas a *Unidades_de_Conteúdo*; e consultar e percorrer os catálogos.

Por outro lado, o servidor de esquemas é responsável pela construção e manutenção de esquemas e tabelas de conversão que mapeiam atributos e grupos de atributos de diferentes esquemas para um outro. Um esquema padrão é representado por um conjunto nomeado de especificações de atributos, que determina seus tipos e outras características importantes.

O **Servidor de Serviços** gerencia um conjunto de repositórios de serviços disponíveis no sistema. Estes repositórios são chamados de listas (pois catálogos se referem a dados), e permitem a identificação, descrição e uso de diferentes serviços.

Basicamente, pode-se imaginar os catálogos do servidor de metadados como as “*páginas brancas*” de uma lista telefônica, onde estão os dados dos assinantes; e as listas do servidor de serviços como as “*páginas amarelas*” das listas telefônicas, onde estão listados os serviços e produtos, classificados por tipo.

Em nosso contexto, serviços são uma coleção reusável de componentes de software executáveis. Eles podem ser módulos de software que executam em diferentes sistemas operacionais, redes e *frameworks* de aplicação. Os objetos que representam serviços no modelo de dados de *SIGHA* são conhecidos como *Computações*. Uma *Computação* armazena a informação em relação ao serviço da mesma forma que um nó representa um documento ou arquivo, ou seja, é um objeto de metainformação.

Em [14] são apresentados em maior detalhe cada um destes servidores. Eles são descritos em termos das mensagens que eles enviam e recebem e dos processos que eles executam.

5 COMPARAÇÃO DE *SIGHA* COM OUTRAS PROPOSTAS

Para ter uma idéia mais clara de quais são as características em comum e quais são as diferenças mais significativas entre a arquitetura *SIGHA* e as outras propostas de solução, nesta seção é realizada uma comparação das mesmas, através da tabela 1. Nela, as colunas representam algumas das características mais importantes identificadas nos sistemas, como idéia principal, serviços oferecidos, arquitetura utilizada, extensibilidade de tamanho, suporte de estruturas hipermídia, abstração de endereçamento e inviolabilidade de documentos.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a arquitetura *SIGHA*, a nossa proposta para o problema de interoperabilidade e integração de *SIGs*, a qual está baseada no paradigma dos Sistemas Hipermídia Abertos. Para isso, primeiro foi caracterizado o problema que motivou este trabalho, interoperabilidade em *SIGs* e os motivos pelos quais é desejável resolvê-lo. Depois disso, se definiu o que se pretende obter com sua solução.

A seguir, foram identificadas as características e funcionalidades dos *SHA* consideradas importantes para o problema de interoperabilidade para assim justificar o porque da escolha deste paradigma para a definição de uma arquitetura que permita a interoperabilidade e integração de *SIGs*.

Depois disso, foi introduzida a arquitetura *SIGHA*, apresentando seus princípios e características e localizando-a no contexto do problema de interoperabilidade de *SIGs*. Também foi apresentada a abordagem utilizada para a definição da arquitetura, a metodologia utilizada para desenvolvê-la e o processo de concepção da arquitetura.

Finalmente, para ter uma idéia mais clara de quais são as características em comum e quais são as diferenças mais significativas entre a arquitetura *SIGHA* e outras propostas de solução ao problema, também foi realizada uma comparação das mesmas, através da identificação de algumas das características mais importantes dos sistemas.

	Idéia Principal	Serviços Oferecidos	Arquitetura utilizada	Extensibilidade de tamanho	Suporte hipermídia	Abstração de endereçamento	Inviolabilidade de documentos
VGIS [18]	Arquitetura aberta que fornece acesso a vários conhecidos (Arc/Info, Intergraph, etc.)	Acesso, visualização, folheio e impressão de dados geospaciais Armazenamento de metadados e consultas sobre os mesmos.	Cliente-servidor aberta. Consiste de três sub-sistemas: cliente, servidor de catálogos e servidor de consultas.	Podem ser estendido para incluir outras fontes de dados além das manipuladas pelos SIGs acessados.	Não	Oferece transparência de localização dos dados para os usuários finais, através do servidor de catálogos.	As fontes de dados são publicadas no servidor de catálogos, e como o sistema não faz controle sobre o acesso e modificação das fontes, a inviolabilidade dos dados não está garantida.
SDBC [16]	<i>Middleware</i> que suporta o acesso a múltiplos bancos de dados espaciais.	Visão O.O. dos B.D. espaciais, gerenciamento de transações global, controle das restrições de integridade.	Cliente-servidor em camadas (3 níveis): nível cliente, <i>ORB</i> e nível servidor.	Podem ser adicionados outros <i>SGBD</i>	Não	Através das extensões espaciais do padrão <i>ODMG</i> , oferece acesso transparente a múltiplos <i>SGBD</i> .	Com o controle das restrições de integridade, tenta garantir de certa forma a inviolabilidade dos documentos.
DIAL [3]	Repositório de dados científicos projetado para disponibilizar tais dados na Internet. Basicamente, é um <i>browser</i> .	Servidor de catálogos, científico, camada de interface a B.D. aberta que interage com <i>ODBC</i> , máquina de busca para trabalhar com metadados	Cliente-servidor que fornece acesso <i>on-line</i> a dados científicos através da internet.	Por ser um repositório de dados, podem ser adicionados a ele novas referências a fontes de dados espaciais.	Não	Não oferece, pois ao trabalhar com a filosofia da <i>web</i> os usuários devem especificar o endereço da fonte de dados desejada.	Não oferece, pois as fontes de dados podem ser modificadas, sem nenhum controle de integridade, consistência, qualidade, etc.
OGDI [9]	<i>API</i> que permite que diferentes aplicações geográficas possam ler formatos de dados externos diretamente	Conversão de diferentes formatos de dados, ajuste transparente de sistemas de coordenadas, recuperação de dados geométricos e seus atributos.	Está situada entre as aplicações (<i>SIGs</i>) e os repositórios de dados, utilizando para cada um deles um <i>driver</i> específico	Para adicionar uma nova fonte de dados, deve ser criado o seu <i>driver</i> correspondente, o qual limita a sua extensibilidade.	Não	Define um protocolo próprio para a localização de fontes de dados remota através de <i>TCP/IP</i> , permitindo o acesso remoto como sendo local.	Como é uma <i>API</i> que permite o acesso às diferentes fontes, convertendo os dados para um formato transitório comum, ele não garante a inviolabilidade das fontes de dados
Geo-Lens [6]	<i>Framework</i> que coloca em domínio público a tecnologia de bibliotecas digitais, disponibilizando os dados espaciais da NASA. Para isso, implementa o modelo <i>OGIS</i> .	Esquemas dinâmicos, conversão entre consultas esquemas, recursivas sobre os catálogos, servidor extensível, servidor de acesso aos dados em concordância com <i>OGIS</i>	Cliente-Servidor através da internet implementando uma federação de catálogos. Possui vários servidores de catálogos, esquemas e de acesso aos dados.	Através da utilização da ferramenta <i>GeoHarness</i> , junto com o servidor de esquemas pode-se adicionar novos metadados relacionados a novas fontes de dados localizadas na internet.	Não	Utiliza a ferramenta de busca <i>GeoHarness</i> para localizar dados na internet, catalogando-os no sistema. Depois através do servidor de acesso aos dados recuperará os dados solicitados.	O servidor de acesso aos dados recupera as fontes de dados requeridas, mas não garante a qualidade das mesmas, nem a inviolabilidade da informação que está sendo entregue ao cliente.
SIGHA	Arquitetura interoperável que fornece um ambiente simples e flexível para a integração de dados, aplicações e serviços <i>SIGs</i> . Para isso, permite um acesso aberto e distribuído à informação e serviços geográficos.	Navegação, estruturação da informação, composição, integração, interoperabilidade, recuperação, armazenamento, distribuição, heterogeneidade, colaboração.	<i>Middleware</i> Cliente-Servidor com vários especializados: de Integração de Aplicações, Navegação, Metadados e de Serviços.	Total (aplicações, servidores, estruturas hiperfídia). Através do <i>SIA</i> pode-se adicionar novas aplicações e servidores. O <i>SM</i> pode adicionar novas fontes de dados. O <i>SN</i> adiciona novos serviços. O <i>SV</i> adiciona novas est. hiperfídia.	Sim. Permite a definição de contextos, nós, âncoras com múltiplos links associados, links n-ários, links computados.	O <i>SIA</i> fornece serviço de localização, para identificar e acessar os diferentes servidores da arquitetura e as aplicações cadastradas. Através do <i>SS</i> tem-se acesso transparente aos serviços cadastrados na arquitetura. Com o <i>SN</i> e <i>SM</i> tem-se acesso transparente às diferentes fontes de dados.	Encapsulando em classes de objetos a informação e metainformação, não impõe reestruturação, reformatação nem realocação das fontes de dados subjacentes. Separação conteúdo-estrutura permite criar contextos e ligações associando diversas fontes de dados sem alterar o conteúdo das mesmas. Esta divisão favorece a consistência das estruturas, pois mudanças nos conteúdos não afetam as estruturas associadas.

Tabela 1: Comparação de algumas propostas de solução ao problema de interoperabilidade de SIGs com a arquitetura SIGHA.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] AREF, W. et.al. “*Extending a DBMS with spatial operations*”. Em Proceedings of the 2nd Symposium on Spatial Database Systems. pp 299-317. Springer Verlag Lecture Notes in Computer Science 525, 1991.
- [2] BOOCH, G. et. al. “*The unified modeling language user guide*”. Ed. Addison Wesley, 1999.
- [3] DATA AND INFORMATION ACCESS LINK. <http://dial.gsfc.nasa.gov>
- [4] GAMMA, E. et al. “*Design Patterns, elements of reusable Object-Oriented Software*”. Editora Addison-Wesley, 1995.
- [5] GARDELS, K. et.al. “*Open GeoData Interoperability Services: An object-oriented framework for accessing distributed, heterogeneous geographic information*”. Em <http://epoch.cs.berkeley.edu:8000/sequoia/guernewood/OGIS/>
- [6] GEOLENS PROJECT. <http://geolens.tipandring.com>
- [7] NEBERT, D. “*Serving digital Map information through the World Wide Web and Wide-Area Information Server technology*”. Em <http://h2o.er.usgs.gov/public/www.paper.html>.
- [8] NELSON, T. “*Literaty Machines*”, 87.1, publicado pelo autor. Mindful Press, 1987.
- [9] OPEN GEOGRAPHICDATASTORE INTERFACE. <http://www.las.com/ogdi>
- [10] OPEN GEODATA INTEROPERABILITY SERVICES, OGIS. <http://www.opengis.org/techno/guide.htm>
- [11] OPEN HYPERMEDIA SYSTEMS WORKING GROUP. <http://www.ohswg.org>
- [12] PEREZ, C. et.al. “*SIGHA: uma arquitetura aberta e interoperável para Sistemas de Informações Geográficas*”. Em Anais do XIX Congresso Nacional da Sociedade Brasileira de Computação, SBC’99, pp. 135-148. Rio de Janeiro, julho 1999.
- [13] PEREZ, C. et.al. “*Sistemas Hipermídia Abertos: uma solução ao problema de interoperabilidade e integração de sistemas*”. Em Memórias da XXV Conferência Latinoamericana de Informática, CLEI’99, pp. 25-38. Asunción, Paraguay. Setembro 1999.
- [14] PEREZ, Celso Roberto. “*Interoperabilidade e Integração de SIG através de Sistemas Hipermídia Abertos*”. Tese de Doutorado, Centro de Informática, UFPE, Recife, Brasil. Maio 2000
- [15] PEUQUET, D. et.al. “*Introductory readings in Geographic Information Systems*”. Taylor & Francis, 1990.
- [16] SPATIAL DATABASE CONNECTIVITY. <http://kdb.snu.ac.kr>
- [17] STAR, J. et.al. “*Geographic Information Systems, an introduction*”. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990.
- [18] WANG, C. et al. “*A Virtual Geospatial Information Server (VGIS) providing transparent access to heterogeneous sources*”. Em Proceedings of International Conference and Workshop on Interoperating Geographic Information Systems, Interop’97, Santa Barbara, California, 1997.
- [19] World Wide Web Consortium (W3C), <http://www.w3.org>


```
ERROR: undefined
OFFENDING COMMAND: grestore

STACK:
```