

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: UMA ABORDAGEM CONTEXTUALIZADA NA HISTÓRIA

Édson Luis BOLFE¹

Lindon Fonseca MATIAS²

Marcos César FERREIRA²

Resumo

Desde as remotas sociedades, passando pela invenção do telégrafo elétrico no século XIX, pelos meios de comunicação de massa no século XX, e até mais recentemente, o surgimento da Internet, onde a informação começou a fluir com velocidade superior a dos corpos físicos, o ser humano convive com um crescimento exponencial do volume de dados disponíveis das mais diversas áreas do conhecimento. Todavia, a partir de 1960, os conceitos de dados e informações sofreram grandes transformações pelo advento dos computadores eletrônicos, hardwares e sofisticados softwares como os sistemas de informação geográfica (SIG). O uso dos SIG atinge atualmente a quase todas as universidades, institutos de pesquisas e empresas, criando enormes possibilidades às mais variadas linhas de pesquisa das geociências, principalmente no que tange a análise espacial de dados geográficos. O domínio da informação espacial disponível é uma fonte de poder, uma vez que permite analisar fatores do passado, relacionando-os com os fenômenos da natureza e da sociedade, compreendendo o presente, e principalmente, antevendo o futuro do espaço geográfico. Assim, o presente artigo objetiva contextualizar historicamente a evolução dos SIG nas últimas décadas, abordando seu desenvolvimento, funcionalidades e características, além de apresentar os pioneiros nesses sistemas no Brasil.

Palavras-chave: Geotecnologias. Geoprocessamento. SIG.

Abstract

Geographic information system: a historical approach

Since the ancient societies, from the invention of the telegraph in 19th Century; the mass media in the 20th Century, and, more recently, the Internet, information has flown in an ever-increasing pace. In addition, this increased speed in which information is spread has impacted on several areas of human knowledge. The introduction of computers, and more specifically Geographical Information Systems (GIS) from the 1960s, has transformed the concepts of data and information. GIS is currently widely used in the academic community as well as in the industry, generating numerous applications in different research areas in geosciences, particularly in the field of spatial analysis. Geospatial information is power because it allows the analysis of factors of the past, and its relations to specific environmental and social features of the present. Spatial analysis provides an understanding of the present, and mainly it provides one with means to infer the future of a given area. This paper aims to analyse the evolution of GIS in the last decades, approaching its development, functionalities and characteristics. In addition this paper presents the pioneers of GIS in Brazil.

Key words: Geotechnologies. Geoprocessing. GIS.

¹ Doutorando em Geografia – UNICAMP e Pesquisador – EMBRAPA Tabuleiros Costeiros. E-mail: bolfe@ige.unicamp.br

² Dr., Prof. Departamento de Geografia – UNICAMP. E-mail: {lindon; macferre}@ige.unicamp.br

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E SUA EVOLUÇÃO HISTÓRICA

A necessidade de identificar diferentes “camadas” de dados em uma série de mapas e depois tentar analisá-los e relacioná-los por sobreposição, é uma idéia muito mais remota do que a existência dos atuais sistemas de informação geográfica. A evolução dos sistemas de informação não aconteceu como um fato isolado e sim perpassam a própria história da humanidade e a evolução das Geociências. Essa evolução é evidenciada desde os primeiros cálculos desenvolvidos pelos sumérios ao supercomputador, das representações cartográficas da Terra estabelecidas por Ptolomeu às imagens de satélites hiperespectrais, das referências espaciais obtidas pelo astrolábio ao sistema de posicionamento global por satélite (GPS), dos registros de dados em mapas portulanos aos programas do tipo CAD (*Computer Aided Design*).

Segundo Ferreira (2003, p.18) “buscar as origens e o arcabouço do pensamento espacial na Geografia é fundamental neste momento, já que as pesquisas contemporâneas que adotam instrumentais geotecnológicos têm tentado mostrar equivocadamente que o SIG nasceu dentro do SIG”. Este autor evidencia que as técnicas de análise espacial, disponíveis nos sistemas de informação geográfica, foram concebidas sem a necessidade prioritária de computadores, surgindo como produtos da tradição geométrica das geografias inglesa e americana entre 1950 e 1970.

Nesta ótica, entende-se que a tecnologia existente nos atuais modelos de SIG transcende o conhecimento totalitário de uma ciência, e sim é fundamentada pela interdisciplinaridade, onde as áreas ligadas à cartografia, geografia, engenharia, matemática e computação gráfica são alguns exemplos de conhecimentos materializados na forma de um software computacional. Inúmeras instituições, governos, empresas e cientistas participaram nessas últimas décadas no processo de evolução e aprimoramento do SIG. Destaque é dado aos governos e empresas da América do Norte e Europa, onde iniciaram-se os primeiros ensaios para o desenvolvimento de SIG ainda na década de 40, sendo o Governo Canadense o pioneiro na articulação de um projeto para a criação do primeiro SIG. Por outro lado, esses países, invariavelmente, não permitiram em seu histórico técnico-científico um verdadeiro detalhamento dos resultados obtidos nesse primeiro momento de evolução do SIG. Mesmo atualmente, ainda é limitada a literatura disponível sobre a evolução histórica global do SIG, normalmente tratando do sucesso de cada país precursor dessa tecnologia (TEIXEIRA et al., 1995; FERREIRA, 2003; SILVA, 2003).

Dessa forma, objetiva-se aqui contextualizar as últimas décadas da evolução dessa tecnologia por meio de alguns fatos históricos locais e globais, assim como abordar sobre o pioneirismo no Brasil nessa área.

Os sistemas de informação, para atender necessidades geográficas na sua concepção fundamental, pode-se dizer, surgiram no Império Inca, onde a comunicação era realizada através dos *chasquis* (mensageiros), que empreendiam grandes maratonas para coletar e distribuir informações. A descrição do mundo real era feita através dos mapas, os quais também foram utilizados por Cristóvão Colombo, Napoleão Bonaparte, entre outros, para demonstrar as rotas, movimentos de tropas ou a localização de qualquer fenômeno (PAREDES, 1994).

Durante a Revolução Americana, mapas da batalha de Yorktown em 1781 foram desenhados pelo cartógrafo francês Louis-Alexandre Berthier, os quais mostravam movimentos de tropas através desse recurso. Em meados do século XIX, o “*Atlas to Accompany the Second Report of the Irish Railway Commissioners*” já mostrava dados acerca da população, da topografia e da geologia sobrepostos no mesmo mapa básico, seria uma primeira utilização empresarial e não militar de um sistema de informação. Apesar dos exemplos remotos do uso desses sistemas para fins eminentemente geográficos, a real necessidade desses sistemas teve início a partir da II Revolução Industrial, pois essa fase, do ponto de vista técnico,

caracterizou-se pela descoberta e utilização de novas fontes de energia, que envolviam diretamente instrumentos para o conhecimento da distribuição de recursos naturais. São exemplos, em 1831 a eletricidade, onde Faraday demonstrou suas experiências sobre as bases físicas da eletricidade; em 1885, Daimler apresentou o motor à explosão utilizando o petróleo descoberto em 1859 na Pensilvânia (EUA) e pela utilização de nova matéria prima - o aço - produzido a partir de 1855 pelo conversor Bressemer.

Essa etapa da Revolução Industrial se caracterizou também pelas transformações ocorridas na ordem capitalista, ou seja, houve um processo de concentração de empresas e de capitais. O capitalismo adotou uma forma monopolista, verificada através dos *trustes*, *holdings* e *cartéis*. Nesse período, intensificou-se a expansão imperialista sobre a África, Ásia e América Latina promovida pelas nações industrializadas como a Inglaterra, França, Alemanha, Itália, Rússia, Estados Unidos e Japão, alterando as relações comerciais e a percepção geopolítica. Neste contexto e momento histórico é interessante notar a distinção fundamental entre ferramenta e instrumento, realizada por um dos mais conceituados estudiosos da Técnica, Gilbert Simondon.

O século XVIII foi o grande momento do desenvolvimento das ferramentas e dos instrumentos, se se entende por ferramenta o objeto técnico que permite prolongar e armar o corpo para realizar um gesto, e por instrumento o objeto técnico que permite prolongar e adaptar o corpo para obter uma melhor percepção; o instrumento é a ferramenta da percepção (SIMONDON, 1969, p. 114).

Exemplo clássico das primeiras especializações de dados foi o trabalho desenvolvido pelo John Snow em 1854, o qual utilizou o endereço de casos detectados de cólera em uma base cartografada da cidade de Londres para identificar a fonte causadora de um surto dessa doença. O procedimento de localizar a residência dos infectados permitiu definir com precisão que, no centro, na zona de Soho em Londres, existia um poço de água contaminada, e este seria a fonte causadora do surto. Este exemplo forneceu evidência empírica para a hipótese (posteriormente comprovada) de que o cólera é transmitido pela ingestão de água contaminada e constituiu-se como uma situação típica onde a relação espacial entre os dados dificilmente seria inferida pela simples listagem dos casos de cólera e dos poços. Dessa forma, o mapa elaborado pelo Dr. Snow passou a ser considerado como um dos primeiros exemplos de análise espacial na história, iniciando um processo de instrumental para a tomada de decisão.

Os sistemas de informação, como são concebidos atualmente, tiveram seu efetivo início a partir de 1960 e a cronologia do desenvolvimento dos modelos atuais é balizada por inúmeros fatores que geraram uma mudança na forma de pensar e atuar dos profissionais da área. Dentre esses fatores, cita-se: a) avanços na tecnologia de processadores e da computação gráfica; b) elevação da percepção ambiental na sociedade; c) necessidades de integração das informações sobre serviços como transporte, energia, água e esgotos; d) ativação dos estudos integrados na Universidade de Washington sobre métodos estatísticos avançados, programação de aplicativos para computadores e cartografia por computador.

Inúmeros estudos foram relevantes por terem desenvolvido e concebido as bases para criação dos sistemas de informação geográfica hoje existentes; pode-se destacar: Hartshorne (1939) que estabeleceu a noção de área geográfica, Schaefer (1953) cujo pensamento e abordagem do espaço geográfico fundamentou a escola espacial, Bunge (1962) que trabalhou com bases geométricas para geografia - pontos, linhas e áreas; Berry (1964) que através da proposta de matriz geográfica fez uma tentativa de síntese de análise regional, estruturada por colunas (sítios) e linhas (situações); Tobler (1964a, 1964b) que desenvolveu algoritmos para projeções de mapas e cartografia por computador; Chorley & Haggett (1967) os quais trabalharam com a análise de componente escalar, Nystuen (1968) que desenvolveu conceitos fundamentais de espaço - distância, orientação e conectividade e Sack (1973, 1974) ao delimitar as abordagens da ciência geográfica fundamenta a base da análise espacial.

A seguir, elabora-se uma breve síntese, por década, das principais ocorrências da evolução histórica dos sistemas de informação geográfica.

DÉCADA DE 40 – SIMPLES, PORÉM NECESSÁRIO

Antecedendo o advento da informática e a popularização dos computadores pessoais, os sistemas de informação nas organizações baseavam-se fundamentalmente em técnicas de arquivamento e recuperação de informações de grandes arquivos. Normalmente existia a figura do profissional “arquivador”, designado como responsável em registrar os dados, catalogá-los, organizá-los e recuperá-los quando necessário. Essa metodologia, apesar de sua aparente simplicidade, exigia um elevado esforço para manter os dados atualizados assim como para recuperá-los. As informações registradas em papéis também não possibilitavam cruzamentos e análise dos dados com facilidade. Neste contexto, no processo de evolução histórica dos sistemas de informação, observa-se a relativa simplicidade dos dados, informações, métodos e técnicas, assim como a limitação do sistema e sua baixa eficiência.

Na Geografia, este momento histórico é marcado por novos paradigmas, destacando-se a corrente teórico-metodológica designada de Nova Geografia, que era influenciada principalmente pelo neopositivismo. Segundo Christoforetti (1985, p. 16) “tentando superar as dicotomias e os procedimentos metodológicos da Geografia Regional, a Nova Geografia desenvolveu-se procurando incentivar e buscar um enquadramento maior da Geografia no contexto científico global”. Para esse autor, essa corrente tinha dentre seus pressupostos um rigor maior na aplicação da metodologia científica, desenvolvimento de teorias, o uso de técnicas estatísticas e matemáticas, a abordagem sistêmica e o uso de modelos nas pesquisas geográficas. As primeiras tentativas de fundamentação teórica do SIG surgiram nessa década. Parent (1988) cita o geógrafo sueco Torden Hagerstrand, que desenvolveu a teoria da difusão espacial, e Harold MacCarty, da Universidade de Washington, entre os primeiros a desenvolverem os métodos quantitativos de análise espacial.

Conforme Becker et al. (2001, p. 72) “em 1940, com o desenvolvimento de equipamentos para radiometria em infravermelho são realizadas as primeiras medidas radiométricas de objetos na superfície por Duntley (USA)”. Este processo subsidiou interesses na produção de filmes para a detecção de camuflagem durante a Segunda Guerra mundial e o aperfeiçoamento na resolução, contraste e cores. Em 1947, Krinov na URSS, aperfeiçoa e intensifica as pesquisas sobre o comportamento espectral dos alvos terrestres. Nesse período é publicada a obra “*Reflectance Properties of Natural Formation*”, o que ampliou as aplicações desses conhecimentos para diferentes áreas temáticas e que nas próximas décadas subsidiaram o desenvolvimento de classificadores digitais nos sistemas de tratamento de imagens.

Esta década marca o início da era da computação moderna (computadores da “primeira geração”), que se inicia com uma corrida de desenvolvimento antes e durante a Segunda Guerra Mundial, com circuitos eletrônicos, relés, capacitores e válvulas substituindo seus equivalentes mecânicos e o cálculo digital substituindo o cálculo analógico. Estes computadores utilizavam-se frequentemente de cartões perfurados para a entrada de dados e como a memória de armazenamento principal (não volátil) e abriram novos horizontes de pesquisa, pela possibilidade de manipulação de arquivos de dados (IBM, 2006). Esta evolução proporcionou novas formas de pesquisas e análise de dados espaciais. Silva (2003, p. 62) ressalta que:

Com o avanço de diversas tecnologias na década de 40, especialmente o aparecimento dos primeiros computadores eletrônicos, modificaram-se os padrões clássicos da Cartografia. O processo de cálculos matemáticos via computadores abriu possibilidades de

pesquisa na manipulação de grandes volumes de dados, especialmente de dados espaciais. Inicialmente, a análise dos dados era limitada por um determinado número de caracteres alfanuméricos, que representava os dados espaciais.

Iniciava-se assim, um novo momento nas Geociências, que apresentava transformações tecnológicas significativas e que influenciariam os estudos e pesquisas das próximas décadas, em particular, na área da geração de modelos complexos e alternativos de simulação de eventos futuros.

DÉCADA DE 50 – ESPACIALIZAR É VITAL

Pós II Guerra Mundial, essa década inicia um forte desenvolvimento nas formas de representações da superfície terrestre, em função da evolução dos estudos geodésicos, topográficos, aerofotogramétricos, matemáticos, entre outros. Esse desenvolvimento proporcionou representar os fenômenos ocorrentes na superfície terrestre de forma e precisão únicas para a época. Posteriormente, iniciaram-se as atividades relacionadas à representação temática já em base cartográfica, tendo destaque na época, a representação da variação magnética, das correntes de ar, e com a evolução crescente da computação, as tentativas iniciais de representar dados geofísicos, geológicos e meteorológicos.

Nessa evolução, tem destaque o início do desenvolvimento dos sensores remotos que operam além do espectro do visível (multiespectrais). Em 1950, a Universidade de Michigan (EUA) desenvolve o sistema termal imageador e inicia o desenvolvimento de equipamentos para medir a radiação infravermelha. Em 1954, a utilização de microondas para estudos da ionosfera e estudos das propriedades físicas da radiação na faixa do microondas, pela Westinghouse Co. (EUA) dão início aos estudos e desenvolvimento de sistemas radares imageadores e aos testes visando à construção de radares de visada lateral. Estas novas imagens diferenciavam-se das fotografias aéreas convencionais, gerando elevada quantidade de dados e maior complexidade para a aquisição de informações.

Dessa forma, as técnicas de interpretação visual tornaram-se insuficientes para analisar e processar todos os dados contidos nessas “novas” imagens. Paralelo ao desenvolvimento dos novos sensores, o desenvolvimento da ciência da computação era crescente, os quais iniciaram os processos de armazenamento, classificação, cálculo de dados digitais e a percepção da necessidade de se analisar espacialmente dados obtidos por meio do sensoriamento remoto.

As tentativas iniciais de automatizar o processamento de dados com características espaciais aconteceram nessa década. Na Inglaterra objetivou-se principalmente minimizar os custos de elaboração e manutenção de mapeamentos ligados à pesquisa em botânica. Nos EUA, realizaram-se os estudos de volume de tráfego envolvendo planos integrados de transportes para as cidades de Detroit e Chicago, por meio de análise estatística relacionada com a distribuição espacial. Os trabalhos desenvolvidos em Detroit e Chicago permitiram a elaboração do aplicativo *Cartographatron* pela *Armour Research Foundation*, no ano de 1958, o qual permitia representar graficamente o volume de tráfego das rodovias (TOBLER, 1959).

Paralelo a esse desenvolvimento acirrava-se a corrida espacial onde, em 1957, os soviéticos surpreenderam o mundo ao lançarem o SPUTNIK 1, primeiro satélite artificial a entrar em órbita da Terra. Um mês mais tarde, enviaram ao espaço o primeiro ser vivo, a cadela *Laika*, a bordo do SPUTNIK 2. A reação americana foi imediata, em 1958 criou-se a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) lançando neste mesmo ano o primeiro satélite artificial norte-americano, o EXPLORER 1. Já em 1959, foi obtida a primeira imagem da Terra produzida a bordo de um satélite dos EUA, o MARK 2, que retornando de

sua órbita trouxe o pioneiro documento visual do planeta visto do espaço, estabelecendo assim novos paradigmas na análise espacial para a próxima década.

DÉCADA DE 60 – SURGE O SIG

No início desta década, com a evolução dos sistemas computacionais, inúmeros grupos acadêmicos se formaram com o objetivo de desenvolver estudos específicos para a geração de programas automatizados já dentro de um conceito de sistemas de informação. Um grupo pioneiro formou-se na Universidade de Washington, que criou um centro de pesquisas e desenvolvimento de SIG, onde estudaram e desenvolveram métodos quantitativos, programação e aplicações para algumas áreas de interesse, em especial a área de transporte. Este pioneirismo contribuiu significativamente para a disseminação da concepção de SIG nos Estados Unidos e no Canadá e, para Antenucci et al. (1991), influenciando o estabelecimento de outros grupos e centros de pesquisa, com destaque para *Harvard's Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis* e o laboratório de SIG da *State University of New York at Buffalo*.

A Geografia propunha, naquele período, entre outras abordagens, uma forma de analisar de maneira integrada as características naturais e sociais fundamentada na teoria geral dos sistemas. Os geógrafos russos da época denominaram essa nova visão de "Geossistema". Assim, a utilização desse enfoque geossistêmico na geografia física, permitiu o retorno da sua concepção interativa, possibilitando assumir uma estrutura dinâmica e operacional. A concepção de geossistema foi definitivamente consagrada por Sotchava (1978), sendo que para esse autor, geossistema é uma unidade dinâmica com organização geográfica própria, um espaço que permite repartição de todos os componentes de um ambiente, o que assegura sua integridade funcional.

No âmbito da análise espacial, teve grande destaque nesta década o conceito de Matriz Geográfica proposto por Berry (1964), onde tratava de representações de fenômenos geográficos na forma de matriz x/y , colocando variáveis nas linhas e as unidades territoriais nas colunas. Assim, a organização dessa matriz exigia a classificação taxonômica (escolha e apresentação de variáveis) e uma resolução espacial (recorte da área geográfica), sendo que a leitura de uma linha na matriz representava a distribuição espacial de determinado tema, ou um mapa, já a leitura de uma coluna representava uma unidade territorial e as variáveis ocorrentes nessa unidade. Pensando numa matriz tridimensional ($x/y/z$), o terceiro eixo (z) poderia representar as informações sobre razões ao longo do eixo, sendo possível associar a variável de temporalidade nas análises espaciais. Esse arcabouço teórico-metodológico gerou o conceito de sítio e situação, os quais possuem significados relevantes para a análise espacial e as operações de modelagem de mapas realizadas nos atuais SIG.

Esta década também seria marcada pelo lançamento do primeiro computador eletrônico pela IBM (*International Business Machines*), o RAMAC 305, e o início da terceira geração de computadores. Em abril de 1964 foi lançada a série IBM 360, sendo os primeiros computadores construídos com circuitos integrados, o que proporcionou uma maior compactação, redução de custos e elevação da velocidade de processamento na ordem de microssegundos (IBM, 2006). Esses computadores possibilitaram o avanço na utilização dos sistemas operacionais, terminais conectados a um servidor por meio de linhas telefônicas, podendo realizar análises numéricas avançadas e processamento de grande quantidade de dados.

Essa nova série de computadores passou a ser comercializada e rapidamente já participava das rotinas técnico-administrativas de processamento de dados de inúmeros governos, centros de pesquisas e empresas, gerando assim, um crescente desenvolvimento

de novos programas computacionais. Essa tecnologia capilarizou a utilização da computação no manuseio de dados numéricos, principalmente daqueles que estavam na forma de linguagem de máquina, como o caso dos cartões perfurados utilizados em inúmeras pesquisas na época.

No Canadá formou-se uma parceria entre Roger Tomlinson e a IBM, que aprovaram junto ao Departamento de Agricultura do Governo Canadense um projeto que visava à criação do primeiro SIG. Assim, Tomlinson foi nomeado diretor do projeto designado de CARDA (*Canadian Agricultural Rehabilitation and Development Administration*), que visava minimizar impactos ambientais e subsidiar o planejamento territorial rural do Canadá. Dessa forma, em 1964, foi desenvolvido um sistema CGIS (*Canadian Geographical Information System*) fazendo parte de um programa governamental (*Canada Land Inventory*) para criar um inventário de recursos naturais e o cruzamento de mapas com diferentes "temas". Este sistema se referia à utilização de um computador principal e equipamentos periféricos, inclusive com o desenvolvimento de um scanner para rápida digitalização de mapas, visando o manuseio das informações obtidas por meio de mapeamentos executados nesse programa do governo Canadense, e também para o processamento dos dados a fim de avaliar as diferentes áreas existentes para distintos usos. Este aplicativo foi considerado historicamente o primeiro SIG desenvolvido.

Paralelo a este desenvolvimento no Canadá, em 1965, no *Harvard's Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis*, formou-se uma equipe multidisciplinar envolvendo programadores e outros profissionais, com objetivo de desenvolver um programa de mapeamento automatizado, criando assim o SYMAP (*Synagraphic Mapping System*). Este programa, que foi o pioneiro em concepção de construção por meio de uma equipe internacionalmente e tecnicamente reconhecida, inaugurava uma nova fase na análise espacial informatizada, pois trazia em sua fundamentação conceitual um conjunto de módulos de análises de dados, envolvendo desde a manipulação até a produção de interpolações coropléticas e isolinhas. O SYMAP foi comercializado e inúmeras instituições de pesquisa, governos e empresas passaram a utilizá-lo em suas rotinas, pois permitia apresentar os resultados gráficos de diversas formas, uma vez que utilizava a impressão sobreposta de caracteres alfanuméricos e a possibilidade de inserir legendas.

A partir de 1967, os Estados Unidos desenvolvem o projeto MIDAS do Serviço Florestal americano, que é considerado como o primeiro sistema completo para administração de recursos naturais e o projeto DIME (*Dual Independent Map Economic*) do *U.S. Bureau of the Census*, criando o programa denominado de *Geographic Base File*, desenvolvido para construir representações digitais de ruas e zonas censitárias. O projeto DIME foi desenvolvido para resolver questões relacionadas ao acesso de diferentes tipos de dados necessários para gerar modelos de transporte de grande escala, onde concebia um sistema de informação geográfica como sendo capaz de extrair os dados adequadamente por meio de banco de dados, tornando possível, depois de analisados, de apresentá-los na forma de mapas. Tal programa representava para a época, um protótipo para os sistemas de informação com aplicação na área urbana. Nesta década a Inglaterra também investe na concepção de modelos para aplicação de estudos censitários.

Estes sistemas de grande avanço para a época, no entanto, possuíam limitações de uso, uma vez que não existiam monitores gráficos de alta resolução, os processadores necessários ainda eram considerados caros, e a mão de obra exigida era altamente especializada e de elevado custo. Somando-se a estes fatores, a reduzida capacidade de armazenamento e a baixa velocidade de processamento dificultavam ainda mais sua aplicação. Porém, para alguns autores, o planejamento na área de transporte baseado na análise estatística e na observação dos produtos gráficos computadorizados é considerado a primeira aplicação efetiva dessa tecnologia.

Nessa década, aconteceram também os lançamentos do primeiro satélite meteorológico, o TIROS 1, e do primeiro satélite de comunicação, o ECHO 1, ambos pelos

EUA em 1960. Já em 1961, a URSS realiza a primeira viagem espacial tripulada, com o russo Yuri Gagarin. Os astronautas da GEMINI e APOLLO, operando manualmente uma câmara, realizaram os primeiros levantamentos globais da superfície terrestre, sendo considerados os primeiros produtos de sensoriamento remoto orbital. Os satélites meteorológicos da série TIROS e NIMBOS passaram a produzir sistematicamente imagens de nuvens, cobrindo grandes áreas continentais.

Essa década é marcada, assim, pelo crescente desenvolvimento na tecnologia das comunicações, na computação e na interpretação de dados obtidos por sensoriamento remoto, em especial de recursos naturais, demandando ainda mais a necessidade do aprimoramento dos sistemas de informação geográfica. Esse rápido desenvolvimento tecnológico viabilizou uma “revolução quantitativa” na Geografia, segundo Christoforetti (1999, p. 30) “as origens da análise espacial remontam ao desenvolvimento da quantificação na Geografia e da ciência regional, durante o início da década de 60, quando os estudos procuraram focalizar as características dos padrões espaciais”.

DÉCADA DE 70 – A DIFUSÃO

No decorrer da década de 70, iniciou-se a produção de novos e mais acessíveis recursos de hardware, tornando viável o desenvolvimento de sistemas de informação comercial. Assim, neste contexto de evolução, difundiu-se a expressão *Geographic Information System* ou Sistemas de Informação Geográfica - SIG. Nesta época, também, aparecem os primeiros sistemas comerciais do tipo CAD, ou projeto assistido por computador, que melhoraram significativamente as condições para a produção de desenhos e plantas para engenharia, sendo os precursores dos primeiros softwares de cartografia automatizada.

Durante os anos 70 foram estabelecidos alguns novos fundamentos matemáticos voltados para a Cartografia, incluindo questões de geometria computacional, impulsionando a disseminação do SIG. Do ponto de vista acadêmico, possivelmente a maior contribuição para o desenvolvimento dos atuais sistemas tenha surgido a partir dos estudos de Howard Fischer, do *Harvard's Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis*, que continuava influenciando o desenvolvimento dessa tecnologia. Comercialmente, foi nesse período que surgiram empresas de aplicativos baseados em SIG, como a *Gimms*, *Esri*, *Intergraph*, *Synercon*, *Comarc*, *Computer Vision*, entre outras.

Evidencia-se nesse momento certa prioridade para a pesquisa científica e tecnológica do espaço, viabilizada com a construção de estações e ônibus espaciais, e com o lançamento de sondas espaciais. Em 1971, os soviéticos lançam a primeira estação orbital, a *SALYUT*, seguida de outras seis na mesma linha, sendo realizadas inúmeras pesquisas (meteorológicas, físicas, químicas, biológicas, astronômicas, medicamentos, matérias-primas) na ausência de gravidade. Em 1972, os EUA lançam o primeiro satélite com propósito de gerar imagens sistemáticas sobre os recursos terrestres, o *LANDSAT 1*. A partir de 1972, são aperfeiçoados os sensores e aparecem outros programas espaciais, destacando-se o *SEASAT*, *SPOT* e *ERS*. Nessa década seriam lançados ainda entre outros, o *LANDSAT 2* (1975), *LANDSAT 3* (1978).

Conforme Teixeira et al. (1995, p. 23) “a década de 70 foi o período de difusão do SIG, com interesse crescente dos órgãos governamentais, principalmente nos Estados Unidos da América”. Dentre as instituições de nível federal interessadas em SIG destacava-se a CIA (*Central Intelligence Agency*), que desenvolveu um banco de dados mundial para suprir suas necessidades e posteriormente o tornou acessível ao público, o U.S. Forest Service, organizações de conservação como a *Fish and Wildlife Service*, o *Department of Housing and Urban Development*, o *Bureau of Census* e, em nível estadual, a Califórnia, Maryland, Minnesota, New York, Oregon e cidades como Kansas City e Oakland.

Nesta década, foi realizado um inventário pela UGI (União Geográfica Internacional) no qual foram identificados 600 diferentes programas, dos quais 80 foram considerados completos e disponíveis a sua utilização conforme (MARBLE, 1990). Também destacam-se dois eventos (1970 e 1972) realizados por Roger Tomlinson e apoiados pela UGI e UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura), os quais reuniram diversos grupos independentes que trabalhavam no desenvolvimento de SIG na época, permitindo o estabelecimento de um fórum para troca de experiências. Essas iniciativas, aliadas ao apoio da NASA, para o desenvolvimento de métodos e técnicas de processamento digital de imagens contribuíram de forma relevante para o fortalecimento dos grupos de pesquisa já existentes, e para a criação de novos grupos de pesquisa, já dentro da concepção de desenvolvimento de programas comerciais, que iriam se destacar na próxima década.

Uma das preocupações geográficas desta década foi o relacionamento do tempo associado aos fenômenos espaciais, Hägerstrand (1973) explorou questões dos domínios, das formas de utilização do território por diversos agentes por meio de movimentos no tempo e no espaço, e assim constatou a inseparabilidade do tempo e espaço, que passaram a ter valor relativo, e não mais absoluto, o quê foi influenciado pela noção de sistema, onde o valor estaria relacionado à posição em relação a outros elementos, ou seja, a outros componentes do sistema.

Conforme Silva (2003, p. 65) “a década de 1970 foi marcada pelo desenvolvimento dos SIG voltados para o planejamento e modelamento de situações relacionadas ao meio urbano. Entretanto, os objetivos eram modestos e a modelagem era geralmente simples”. Neste contexto, foi crescente o desenvolvimento de novas metodologias baseadas em sistemas de informação que, aliadas à evolução do processamento digital de imagens obtidas por sensoriamento remoto, geraram uma gama de dados, inclusive sistemáticos, estabelecendo novos paradigmas computacionais para sua análise espacial, no que tange a temporalidade. Porém, devido aos elevados custos, ao fato desses sistemas ainda utilizarem exclusivamente computadores de grande capacidade e a limitação dos bancos de dados, somente poucas e grandes organizações obtinham acesso fácil a essa tecnologia durante a década de 70, e praticamente, atendiam a fins específicos das empresas e instituições que desenvolviam os aplicativos.

DÉCADA DE 80 – DA ACADEMIA AO COMÉRCIO

A partir da década de 80 a tecnologia de sistemas de informação geográfica iniciou um período de acelerado crescimento, em que a popularização e barateamento das estações gráficas de trabalho, o surgimento e evolução dos computadores pessoais, dos sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais e da ligação de dados gráficos e alfanuméricos, promoveram uma grande difusão do uso desses sistemas. Aliado a esse crescimento, a década de 80 teve significativa evolução no que tange a hardware e periféricos como scanners, mesas digitalizadoras, vídeo de alta resolução, plotters e unidades de armazenamento de dados, permitindo uma manipulação de dados geográficos de forma mais efetiva. Iniciou-se assim um novo período onde as empresas privadas e a comunidade científica começam a investir e a pesquisar com maior intensidade esta tecnologia, destacando os estudos desenvolvidos para os primeiros sistemas em SIG - raster (*MAP - Map Analysis Package*) por Dana Tomlin e de Jack Dangermond que iniciou o desenvolvimento de um SIG - vetor, que mais tarde se tornou o programa Arc/Info.

Paralelo ao desenvolvimento tecnológico, intensificou-se a consciência ambiental e a necessidade de mitigação de impactos causados ao meio ambiente em função do uso dos recursos naturais e emissões atmosféricas, provocando uma verdadeira corrida contra o

tempo visando instituir instrumentos e metodologias para subsidiar o uso sustentável dos recursos naturais. Dessa forma, cresceu significativamente o aperfeiçoamento dos sistemas de informação geográfica voltados ao gerenciamento governamental desses recursos. Nesse momento, inúmeros governos, instituições de pesquisas e empresas começaram a investir no desenvolvimento e aprimoramento de métodos e aplicativos visando à análise geográfica de dados nos diferentes setores da economia e meio ambiente, destacando-se a Alemanha, Inglaterra, Itália, França, Holanda, Noruega, Suécia, URSS, Israel, Austrália, China, Brasil e África do Sul.

O desenvolvimento de novos sensores remotos e equipamentos óticos mais precisos, da mecânica orbital, dos microprocessadores e soluções para a armazenagem de dados à distância e das naves espaciais tripuladas que possibilitaram a experimentação de novos sensores também impulsionaram significativamente o conhecimento em torno do SIG. Em 1982, acontece o lançamento do LANDSAT 4 e iniciou-se a repetitividade da obtenção de dados da superfície terrestre a cada 16 dias, e em 1984 é lançado o LANDSAT 5. Para o Brasil, destaca-se nesta década o lançamento do primeiro satélite de comunicações em 1982, o BRASILSAT 1 e a assinatura em 1988 do acordo entre o Brasil (INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e China (CAST - Academia Chinesa de Tecnologia Espacial) para o desenvolvimento de dois satélites avançados de sensoriamento remoto, denominado Programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*). A França, através do *Centre National d'Etudes Spatiales* (CNES), lança em 1986 o primeiro satélite da série SPOT, sendo o sistema de observação terrestre mais complexo desenvolvido até aquele momento, notadamente pelo seu volume de componentes e sofisticação. Já em 1988, a Índia também passa a obter sucesso no desenvolvimento, lançamento e operação dos seus satélites de sensoriamento remoto, com o lançamento do primeiro satélite da série IRS-1a (*Indian Remote Sensing*), equipado com sensores multiespectrais.

Nos anos que antecederam o fim da Guerra Fria, cujo marco histórico é a queda do Muro de Berlim, em 1989, os projetos astronáuticos já eram menos frutíferos, na eminência da crise ambiental e com a recessão econômica globalizada, as superpotências começavam a redefinir seus objetivos estratégicos, onde a competição espacial ficou em segundo plano. Nesse período, as visões mais reducionistas da Geografia Quantitativa, que impulsionaram a análise espacial na década anterior, são questionadas pelas correntes de pensamento da fenomenologia e do existencialismo, trazendo ao debate as preocupações com os problemas sociais.

Nesta década, ganha força nas ciências o enfoque da relação "sociedade e natureza", aparecendo nos EUA a "Biologia da Conservação", cuja preocupação é a proteção da biodiversidade. Um dos pioneiros desta visão foi Soulé (1985), o qual sugeria que a biologia da conservação fosse uma ciência multidisciplinar, a qual fora desenvolvida como resposta à crise que a diversidade biológica se encontrava. Outra linha de pensamento dessa década foi a "Ecologia da Paisagem", onde Forman & Godron (1986) entendiam a paisagem como uma combinação heterogênea de ecossistemas complexamente estruturados, onde a dinâmica deve ser compreendida, buscando-se entender as regras da distribuição dos elementos da paisagem e dos ecossistemas - o fluxo de seres vivos animais e vegetais, o fluxo de energia, nutrientes minerais e da água - e as conseqüentes alterações ecológicas no mosaico paisagístico ao longo do tempo.

Paralelo a crise ambiental, a recessão econômica globalizada e as discussões no enfoque da relação "sociedade e natureza", as pesquisas desenvolvidas com os sistemas de informação geográfica, foram muito beneficiadas pela massificação gerada pelos avanços da microinformática, pela incorporação de muitas funções de análise espacial e do estabelecimento de centros de estudos sobre o assunto. Nos EUA, a criação dos centros de pesquisa que formaram o *National Centre for Geographical Information and Analysis* (NCGIA, 1989) proporcionou também um alargamento do leque de aplicações de SIG marcando o estabelecimento de um novo momento para a área.

Segundo Frank et al. (1991, p. 1431) “na década de 80 os SIG tiveram um elevado nível de desenvolvimento sendo atrativos para a indústria. Este desenvolvimento pode ser observado no mercado, nas empresas, na academia e nos profissionais relacionados à informação geográfica”. Este autor lista alguns indicadores:

- O número de sistemas instalados duplicou a cada dois ou três anos;
- Estimava-se que a taxa de crescimento anual no mercado de SIG era de aproximadamente 35%;
- As taxas de vendas de alguns SIG obtiveram crescimento de 100% ou mais;
- O rápido crescimento do número de conferências regionais, nacionais e internacionais focalizando o SIG, algumas referem-se aos avanços tecnológicos e a fundamentação teórica desses sistemas, outras relacionadas às aplicações mais específicas;
- O crescimento do número de revistas científicas e artigos publicados em sistema de informação geográfica, alguns adotando SIG em seus títulos;
- A multiplicidade das disciplinas – Geografia, Engenharia, Florestal, Ciência da Computação – criando novos enfoques em SIG;
- O estabelecimento de muitas universidades que adicionaram o SIG em seus cursos e testemunharam o crescente interesse dos alunos nesses sistemas;
- O número de centros nacionais em SIG que se estabeleceram nos EUA e na Inglaterra.

Dessa forma, essa década ficou caracterizada pela grande evolução industrial do SIG, Teixeira et al. (1995) destaca que na década de 80, o sistema de informação geográfica foge dos moldes anteriores e passa a integrar o setor industrial e comercial, pois houve um rápido crescimento técnico e um maior interesse no seu desenvolvimento, identificando-se assim uma evolução tecnológica em rapidez, facilidade e flexibilidade com que os dados geográficos passaram a serem manipulados. Segundo Silva (2003, p. 65) “a definitiva incorporação do SIG nos mais diversos setores da sociedade aconteceu na década de 80. Isto deveu-se a vários fatores, sendo um dos mais importantes à evolução tecnológica da informática”.

Por outro lado, iniciou-se a preocupação com a compreensão e o aprendizado da fundamentação teórica vinculadas aos SIG, pois essa tecnologia evolui muito rapidamente nessa década. Conforme Câmara et al. (2003, p. 84) “como este desenvolvimento foi motivado desde o início por forte interesse comercial, não foi acompanhado por um correspondente avanço nas bases conceituais da geoinformação; como resultado, o aprendizado do Geoprocessamento tornou-se dificultado”.

DÉCADA DE 90 – A POPULARIZAÇÃO

Os anos 90 consolidaram definitivamente o uso de SIG como instrumento de apoio à tomada de decisão, tendo saído do meio acadêmico e científico para incorporar-se rapidamente o setor comercial. Instituições governamentais e grandes empresas começaram a investir significativamente no desenvolvimento de aplicativos para o mercado, consolidando-se assim as aplicações *desktop* que agregavam diversas funções no mesmo sistema (processamento digital de imagens, análise espacial, modelagem 3D etc). No início desta década, os usuários eram especialistas e tem início a difusão dos benefícios dos usos e aplicações em SIG.

Na década de 90 ocorrem inúmeros lançamentos de satélites com sensores inovadores, principalmente no que tange a sua resolução espectral e espacial. A França lança o SPOT 2 em 1991 e o SPOT 4 em 1998. A Índia continuou lançando os satélites da série IRS,

o IRS-1b (1991) e o IRS-1c (1996). Em 1993 é lançado o SCD-1, o primeiro satélite planejado e construído no Brasil, e em 1999 é lançado o satélite sino-brasileiro de observação da terra (CBERS 1). Dentre os principais sensores, o verdadeiro destaque dessa época foi o lançamento nos EUA do EARLYBIRD em 1997, o qual teve problemas funcionais, e em 1999 o QUICKBIRD. Estes sensores inauguravam uma nova fase das imagens de alta resolução para fins comerciais, pois possuíam alta resolução espacial (inferior a 1 m no pancromático e 3 m no modo multiespectral).

No fim dos anos 90, a utilização do ambiente Web-WWW (*World Wide Web*) é consolidado e grandes corporações passaram a adotar este instrumento de forma significativa, principalmente para a comunicação e disseminação de informações e dados. Os desenvolvedores de SIG, atendendo demandas do mercado, remodelam os aplicativos e estes passam a fazer uso também do ambiente Web e desta forma popularizando-se. Os aplicativos inicialmente são simples, com funcionalidades básicas de consulta a mapas e a bases alfanuméricas, porém o que marca a década para essa tecnologia é o fato de que o usuário já não necessita mais ser especialista.

Por outro lado, cresceu a preocupação geográfica com as metodologias adotadas nesse período e sua adequação com o pensamento científico e às tendências da era pós-moderna. Goodchild (1991), discutindo a difusão do SIG alertou para o fato do mesmo estar sendo utilizado como mera “caixa de ferramentas” (*toolbox*), e defendia a criação de uma Ciência da Informação Geográfica. Enfatizou ainda que as carências em SIG estariam no usuário; não a respeito da informática, mas sim de conceitos, de princípios em análise espacial. Silva (2003), afirma que no início da década de 90, as funções desses sistemas já estavam muito bem estabelecidas e que a partir desse momento, o que prevaleceu foi o aumento crescente da integração do usuário com o SIG, facilitando o uso dos aplicativos.

Burrough e McDonnell (1998) enfatizam que em cada estágio de um projeto envolvendo os sistemas de informação geográfica, a verificação apropriada dos dados e dos procedimentos metodológicos é imprescindível, a fim de assegurar que a base de dados esteja isenta de quaisquer erros, uma vez que, a criação de uma base de dados digitais é a tarefa mais importante e mais complexa de um SIG, e sobre a qual reside a utilidade do sistema. Visando a qualificação da base de dados, novas técnicas de análise geográfica são incorporadas ao SIG, como a modelagem ambiental (KEMP, 1993) e a classificação contínua (DRUCK & BRAGA, 1995), permitindo atender aos requisitos de análise e modelagem espacial de grandes bases de dados geográficos.

Em função do aprimoramento das discussões técnico-científicas em torno dessa tecnologia ocorridas nesse período, o meio acadêmico e técnico participa de um processo que possibilitou um salto qualitativo e quantitativo do número de usuários em SIG e o surgimento de inúmeros sites especializados, livros, revistas científicas etc. Um estudo desenvolvido pelo Soil Conservation Service nos EUA em 1992, já apontava a existência de 83.000 usuários de SIG, em diferentes cidades, estados, agências federais e empresas privadas (SILVA, 2003). Neste momento, destaca-se também a aproximação entre as grandes empresas de SIG e as tradicionais empresas de TI (Tecnologia da Informação) como a Oracle, Microsoft, Google, o que influenciaria de sobremaneira a forma e as aplicações dos sistemas de informação geográfica nos próximos anos.

PÓS 2000 – A MASSIFICAÇÃO

Após a grande popularização desses sistemas na década de 90 e o engajamento de grandes empresas de TI, surgem o Google Maps e o Google Earth, ocorrendo uma verdadeira revolução no perfil dos usuários e na forma de SIG. Além dos usuários especialistas em SIG

utilizarem esses instrumentais em suas atividades, outros que até então não tinham qualquer contato com essas ferramentas, da noite para o dia podem ter acesso a qualquer parte do planeta por meio de aplicações que misturam imagens de satélites, modelos 3D e GPS, bastando para isso, que o usuário possua “apenas” uma conexão à Internet.

O contínuo avanço da tecnologia digital permite atualmente que sistemas computacionais de última geração possam ser adquiridos por valores relativamente baixos em relação às décadas anteriores, impulsionando o uso dos sistemas de informação geográfica no âmbito institucional, empresarial, comercial e doméstico.

Observa-se uma significativa incorporação dos conceitos teóricos norteadores de inúmeros estudos de análise espacial ao SIG, além dos recursos de software e hardware avançados. Essas inovações tecnológicas permitem a concepção de sistemas amadurecidos conceitualmente, recriando o SIG fundamentado em conceitos de sistemas especialistas (*expert-systems*), da lógica nebulosa (*fuzzy logic*), das noções de tempo e espaço relativos, possibilitando incorporar princípios da análise sistêmica em suas rotinas e aplicações.

Essa evolução se deu em grande parte, pelos inúmeros programas espaciais desenvolvidos por diferentes países, em destaque EUA, Canadá, União Européia, Rússia, Índia, Japão, China, Israel; e a crescente entrada de empresas comerciais desenvolvedoras e operadoras de sistemas de sensoriamento remoto e de informação geográfica. No Brasil, o programa Sino-Brasileiro lançou o CBERS-2 em 2003, e em função do sucesso e dos efeitos positivos da divulgação das imagens, ambos governos decidiram expandir o acordo assinado em 1988, e incluíram outros dois satélites da mesma categoria (CBERS-3 e 4), como uma segunda etapa desse acordo.

Em função da crescente pressão antrópica sob os recursos naturais e da crise ambiental, expressa oficialmente como um problema global, observa-se o desenvolvimento de sistemas de informação que executam e espacializam modelos e cenários relacionados aos recursos naturais (clima, nível do mar, vegetação, entre outros). Nessa década, inúmeros conglomerados empresariais vêm utilizando-se de SIG como um fator diferencial em seus produtos. Empresas desenvolvedoras de aparelhos de telefonia celular, por exemplo, incluem como serviços telefones equipados com mapas e GPS. Montadoras automobilísticas investem no desenvolvimento do *mobile cartography*, ou seja, dotam veículos com sistemas de rastreamento por satélite, onde apesar da limitação das dimensões da tela, os novos avanços em hardware como o “papel eletrônico” podem impulsionar significativamente esta área de pesquisa nas próximas décadas.

Nesse momento chegam ao mercado bibliotecas geográficas digitais (BGD), produto da evolução dos sistemas de informação caracterizadas pelo gerenciamento de grandes bases de dados geográficos, com acesso através de redes locais e remotas, com interface via *Web*. Conforme Câmara e Medeiros (2003, p. 415):

Uma biblioteca geográfica digital ou um “centro de dados geográficos” é um banco de dados geográficos compartilhado por um conjunto de instituições. Essa biblioteca deve ser acessível remotamente e armazenar, além de dados geográficos, descrições acerca dos dados (metadados) e documentos multimídia associados (textos, fotos, áudio e vídeo).

Uma das mais importantes iniciativas em BGD é a *Alexandria Digital Library* (ADL) na Universidade de Santa Bárbara na Califórnia (UCSB, 2004), assim, algumas arquiteturas têm sido propostas para BDG em produtos comerciais internacionais. No Brasil, segundo Osses et al. (2000), o INPE por meio do “*SpringWeb*” exemplifica o pioneirismo na geração de arquitetura em BGD.

Esses sistemas necessitam tecnologias baseadas em bancos de dados distribuídos e federativos possibilitando a interoperabilidade, ou seja, o acesso às informações por diferentes usuários e outros sistemas. Estas novas premissas são orientadas para troca de informações entre organizações e cidadãos, acessando bases de dados públicas. Segundo Câmara e Medeiros (2003, p. 415) “esse novo paradigma, é motivado pelo aguçar da nossa

percepção relativa aos problemas ecológicos, urbanos e ambientais, em entender, de forma cada vez mais detalhada, processos de mudança local e global e pela necessidade de compartilhar dados entre instituições e com a sociedade". Dessa forma, a atual década apresenta elevada massificação do uso de SIG sendo aplicado nos mais distintos setores da sociedade, como destaca Matias (2004, p. 10):

O uso dessas tecnologias instaura-se nas últimas décadas como um importante instrumento de aquisição, produção de análises e representação de informações sobre o espaço geográfico. Reúne para isso os conhecimentos e as práticas tecnológicas oriundas de diversas áreas do conhecimento científico, característica manifesta das tecnologias modernas, representando uma síntese do poder de manipulação de dados disponibilizado pelo meio computacional. Em um mesmo ambiente de trabalho, diga-se de passagem, cada vez menos sofisticado e mais acessível, tanto em termos financeiros como tecnológicos, permite tratar dados provenientes de fontes diversas [...], com escala de abrangência que vai do local ao global.

Por outro lado, a massificação no desenvolvimento e uso dos SIG têm gerado relativos problemas em relação à falta de padronização de formatos de dados, modelos semânticos e metadados para os inúmeros sistemas existentes, dificultando assim a integração de informações. É crescente a necessidade de uma linguagem que unifica e padroniza a sistemática de dados, capaz de reunir informações geradas por diferentes fontes. Assim, estão surgindo iniciativas para o desenvolvimento de padronizações em SIG, sendo o Consórcio *OpenGIS* (OGC) um dos principais grupos com essa preocupação. Este consórcio internacional reúne atualmente 343 empresas, agências governamentais e universidades que por meio da participação de um processo de consenso busca desenvolver padrões e interfaces para os SIG, permitindo que diferentes sistemas se comuniquem (OGC, 2007).

Neste sentido, é fundamental perceber as capacidades e limitações dos SIG e de seus usuários, assim como das análises e aplicações dos resultados obtidos via SIG. Segundo Câmara et al. (2003, p. 94) "apesar dos significativos avanços das duas últimas décadas, a tecnologia de sistemas de informação geográfica ainda está longe de dar suporte adequado às diferentes concepções de espaço geográfico".

O PIONEIRISMO DO SIG NO BRASIL

No início da década de 60, o Governo Brasileiro teve interesse na área de sensoriamento remoto. Assim foi criado em 1961, no município de São José dos Campos - SP, a Comissão Nacional de Atividades Espaciais (CNAE) vinculada ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), transformada mais tarde (1971) no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Neste mesmo ano foi firmado um projeto de cooperação com o CNPq e a NASA para o desenvolvimento de sensores remotos com o objetivo de aquisição de dados dos recursos naturais, culminando em sistemas como o Radam (Radar no Amazonas) que mais tarde tornou-se RadamBrasil. Posteriormente, algumas universidades e institutos de pesquisas começaram a desenvolver projetos mais vinculados a área de sistemas de informação geográfica.

As primeiras aplicações de SIG no Brasil iniciaram-se a partir do esforço de divulgação e formação de pessoal realizado pelo professor Jorge Xavier da Silva (Universidade Federal do Rio de Janeiro), no início dos anos 80. A vinda do Dr. Roger Tomlinson ao Brasil em 1982, responsável pela criação do primeiro SIG (*Canadian Geographical Information System*), fortaleceu alguns grupos já existentes e incentivou o aparecimento de vários outros grupos interessados em desenvolver essa tecnologia.

- ➔ **INPE**: A partir de 1975, o INPE desenvolveu sistemas de processamento digital de imagens e, em 1984, estabeleceu um grupo técnico específico para o desenvolvimento de tecnologia de geoprocessamento e sensoriamento remoto (Divisão de Processamento de Imagens - DPI). De 1984 a 1990 a DPI desenvolveu o SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) e o SGI (Sistema de Informações Geográficas), para ambiente PC/DOS. Após 1991, foi desenvolvido o SPRING (Sistema para Processamento de Informações Geográficas), para ambientes UNIX e MS/Windows. Esse sistema unificou o tratamento de imagens de Sensoriamento Remoto (ópticas e microondas), mapas temáticos, mapas cadastrais, redes e modelos numéricos de terreno. A partir de 1997, o SPRING passou a ser distribuído livremente, sendo atualmente muito utilizado, em especial no meio acadêmico.
- ➔ **UF RJ**: O grupo do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sob a orientação do Profº Jorge Xavier da Silva, a partir de 1982, desenvolveu o sistema designado de SAGA (Sistema de Análise GeoAmbiental). Este sistema tem como destaque sua capacidade de análise geográfica e vem sendo utilizado com sucesso como veículo de estudos e pesquisas de impactos ambientais e de modelagem e previsão de cenários.
- ➔ **UNESP**: a Universidade Estadual Paulista, sob a coordenação do Professor Amândio Luís de Almeida Teixeira, desenvolveu no Campus de Rio Claro, no ano de 1988, um sistema integrado denominado de GEO-INF+MAP, com a finalidade de uso didático na Universidade. Suas aplicações foram voltadas para o campo da topografia e para estudos e análises ambientais, hidrológicos e climatológicos.
- ➔ **UFSCar**: A Universidade Federal de São Carlos estabeleceu na década de 80, um projeto para a criação do *Mapsystem*. Este sistema teve como destaque a edição e manipulação de mapas com foco nas áreas de geotecnia, ecologia, engenharia, saúde e transportes, facilitando as atividades vinculadas à pesquisa, estudos e planejamento territorial.
- ➔ **IME**: O Instituto Militar de Engenharia que é responsável, no âmbito do Exército Brasileiro, pelo ensino superior de Engenharia e pela pesquisa básica, no início da década de 80, teve alguns dos primeiros trabalhos acadêmicos concluídos envolvendo sistemas de cartografia automatizados e a geração de mapas anáglifos através de superfície de contorno. Destaque se dá ao trabalho do Major Oswaldo Ari Abib, concluído em 1986, intitulado Especificações para um Sistema de Cartografia Apoiada por Computador.
- ➔ **MaxiDATA**: Técnicos responsáveis pelo setor de informática da empresa AeroSul em Curitiba, sob a liderança do Engº. Eduardo Fila, desenvolveram, em meados dos anos 80, um sistema que visava à automatização de processos cartográficos, o CartoCAD. Posteriormente, esses profissionais constituíram uma nova empresa, a MaxiDATA e lançaram o MaxiCAD, este sendo utilizado principalmente em aplicações de mapeamento por computador e para cadastro urbano foi largamente difundido no Brasil.
- ➔ **CPqD/TELEBRÁS**: O Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da TELEBRÁS iniciou, em 1990, o desenvolvimento do SAGRE (Sistema Automatizado de Gerência da Rede Externa). Este sistema construído com base num ambiente de um SIG (VISION) com um banco de dados cliente-servidor (Oracle) tem sua aplicação fundamentada para o setor de telefonia. O SAGRE envolveu um significativo desenvolvimento na área e marca o início da personalização de SIG que se inicia na década de 90.
- ➔ **CPRM**: A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, criada em 1969, e hoje designada de CPRM/Serviço Geológico do Brasil (SGB), implantou na década de 80 o SIGA (Sistema de Informações Geológicas do Brasil) no qual desenvolveu o SIR (Sistema de Informação de Recursos Naturais). Este sistema era concebido no banco de dados do SIGA, gerando bases cartográficas e processos para análise de entidades geográficas com foco nos levantamentos geológicos e hidrológicos básicos do território nacional.

- ➔ **FIDEM:** A Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Recife, hoje denominada de Agência CONDEPE/FIDEM (Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco) desenvolveu na década de 80 um sistema de informação voltado para o planejamento, estudos e pesquisas visando à implementação de uma política de desenvolvimento local e regional no Estado de Pernambuco.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Historicamente a observação e a representação da superfície da Terra se constituem como relevante na organização e desenvolvimento das sociedades e das diferentes culturas. Desde a antiguidade até o presente momento, as informações e dados espacialmente referenciados foram descritos graficamente e utilizados por navegadores e demais profissionais. Na construção da evolução dos sistemas de informação geográfica observou-se a preocupação em integrar dados espaciais e não espaciais em um único sistema, possibilitando cruzar informações de uma gama de diferentes fontes e tipos, provenientes de inúmeros bancos de dados. Inicialmente, um processo simples de converter mapas e outros tipos de informações espaciais na forma digital, via SIG, tornava possível desenvolver novos e inovadores métodos para a análise e exibição de dados geográficos. Posteriormente, a ênfase foi para os sistemas capazes de estabelecerem novos paradigmas inerentes à análise espacial de fenômenos geográficos e, mais recentemente, com o grande avanço da informática, iniciaram-se os sistemas baseados em bibliotecas geográficas digitais, fundamentos na premissa de acesso remoto à informação pelos cidadãos por meio do sistema *Web*. Assim, pode-se a partir das principais características dos sistemas de informações geográficas dividir o processo evolutivo dessa tecnologia através de distintos períodos e estágios, conforme descritos na Tabela 1.

Ao longo da história, os sistemas de informação geográfica tiveram aplicações em diferentes áreas do conhecimento: geografia, saúde, agricultura, silvicultura, planejamento territorial, geologia, logística, segurança pública, recursos naturais. Em todas essas áreas foi dada ênfase na coleta, processamento, integração e análise de dados espaciais, gerando assim inúmeros benefícios, onde pode-se destacar:

- Gera conhecimento acerca dos recursos naturais existentes em uma área geográfica;
- Permite a otimização de recursos humanos disponíveis para coleta e análise de dados;
- Melhora o planejamento e a execução de pesquisas, pois disponibiliza dados já existentes e estabelece linhas norteadoras para coleta, armazenamento e processamento dos novos dados a serem coletados;
- Gera novas informações pela capacidade de análise integrada de dados anteriormente disponíveis via banco de dados geográficos;
- Facilita o desenvolvimento e a compreensão de modelos dinâmicos de cenários futuros para apoio ao planejamento nas diferentes áreas de aplicação;
- Propicia a formulação, avaliação e gestão de diferentes estratégias, no que tange à tomada de decisões gerenciais nas diferentes áreas de aplicações.

As disciplinas envolvidas na trajetória histórica do SIG são inúmeras, recebendo contribuições de diversas áreas do conhecimento para formulação de seus conceitos, e para a concepção dos projetos, metodologias e implementação de suas aplicações. Essas características tornam o SIG uma tecnologia de convergência de campos tecnológicos e áreas do saber. Dentre essa inter e multidisciplinaridade, cita-se: cartografia, aerofotogrametria, sensoriamento remoto, sistemas de posicionamento global por satélites, informática, programação computacional e estatística.

Tabela 1 - Diferentes períodos e estágios de desenvolvimento dos SIG e suas principais características

Estágio	Período	Características
Década de 60	Primeira Fase*	✓ Período pioneiro do SIG, onde o destaque são os esforços individuais.
Década de 70	Segunda Fase*	✓ Período onde ouve a regularização das experiências e práticas. ✓ Surgimento dos órgãos comprometidos com o desenvolvimento dos SIG.
Década de 80	Terceira-Fase*	✓ Fase em que o fator competitivo do setor comercial reforçou a dinamização do desenvolvimento do SIG.
	Primeira Geração**	✓ Desenvolve-se SIG para ambientes classe VAX (a partir de 1980) e para sistemas PC/DOS (a partir de 1985). ✓ Geração caracterizada pela existência de SIG (CAD cartográfico). ✓ Sistemas herdeiros da tradição de Cartografia, com suporte limitado de banco de dados e cujo paradigma típico de trabalho é o mapa (plano de informação). ✓ Sistemas utilizados principalmente em projetos isolados, sem a preocupação de gerar arquivos digitais de dados, caracterizado como SIG orientado por projeto (<i>project-oriented GIS</i>).
Década de 90	Quarta-Fase*	✓ Período onde existiu certo domínio dos usuários. ✓ Acentua-se a competição entre fornecedores de SIG, padronizando-os e sofisticando-os. ✓ Usuários com elevado conhecimento das potencialidades dos SIG.
	Segunda Geração**	✓ Introdução da geração de SIG (banco de dados geográficos) ao mercado. ✓ Caracteriza-se por ser concebidos para uso em ambientes cliente-servidor. ✓ Acoplam-se os gerenciadores de banco de dados relacionais e pacotes de processamento de imagens. ✓ Desenvolvidos para ambientes multiplataforma (Unix, OS/2, Windows) com interfaces baseadas em janelas. ✓ Geração com sistemas para suporte a instituições (<i>enterprise-oriented GIS</i>).
Pós 2000	Terceira Geração**	✓ Sistemas desenvolvidos a partir de bibliotecas geográficas digitais ou centros de dados geográficos. ✓ Caracteriza-se pelo gerenciamento de grandes bases de dados geográficos, com acesso por intermédio de redes locais e remotas, com interface via <i>www</i> . ✓ Aprimoramento dos bancos de dados distribuídos e federativos visando atender o crescimento dos bancos de dados espaciais e a necessidade do compartilhamento com outras instituições. ✓ Estes sistemas seguem requisitos de interoperabilidade, de maneira a permitir o acesso a informações espaciais por sistemas SIG distintos. ✓ Essa geração utiliza sistemas orientados para a troca de informações entre uma instituição e os demais componentes da sociedade (<i>society-oriented GIS</i>).

Fonte: Adaptado Coppock; Rhind (1991)* e Câmara; Medeiros (2003)*.*.

Segundo Matias (2003, p.12) “o papel hoje desempenhado pelo SIG, embora de um modo mais complexo, dá continuidade aquele representado desde os primórdios pelo conhecimento cartográfico, sendo assim, deve-se conhecer tão bem este como aquele”. Assim, o conhecimento da representação gráfica, das teorias cartográficas, das teorias sobre o espaço geográfico e da lógica do processamento de dados constituem-se elementos fundamentais para o entendimento atual dos SIG e na aplicação de novos conceitos nesses sistemas. Neste contexto, Ferreira (2003, p. 4) enfatiza que:

Embora a velocidade do crescimento na disponibilidade de dados duplique ou triplique anualmente através da rede mundial de computadores, isto não significa que conhecimento e sabedoria em SIG

terão igual desempenho. Sabedoria e conhecimento em SIG provêm também do uso esclarecido das funções de análise espacial em um determinado contexto teórico-metodológico, que vão mais além dos tutoriais e demais estratégias comerciais transformadas atualmente em “metodologias” de pesquisa.

Apesar das inúmeras iniciativas no Brasil e a vasta aplicabilidade dos sistemas de informação geográfica, invariavelmente a irregularidade de investimentos e a recente utilização do seu potencial por parte dos profissionais, os torna ainda como sistemas sub-utilizados, não atendendo plenamente às suas demandas.

Concluindo, pode-se dizer que as aplicações e a utilização dessa tecnologia tende a crescer nas mais diversas nações, principalmente pela vasta gama de atividades em que intuitivamente percebe-se a aplicabilidade dessa tecnologia e de seus fundamentos. Por outro lado, não se trata aqui de sugerir o SIG como uma solução única e milagrosa, e sim, resgatar parte de sua evolução histórica mundial, embora limitada, porém permitindo entender alguns fatos da necessidade desse advento tecnológico e ressaltar seu potencial na análise espacial que ao longo das próximas décadas subsidiarão a compreensão do espaço geográfico. Neste contexto, ressalta-se ainda que, por mais que a tecnologia envolvida nos sistemas de informação geográfica, nos leve a crer na representação computacional do espaço geográfico gerada por esses sistemas, é fundamental e indispensável o entendimento da concepção conceitual que fundamenta a geração de modelos e análises, uma vez que esses processos metodológicos de análise espacial são simplificações da realidade muito mais complexa dos fenômenos geográficos.

REFERÊNCIAS

- ANTENUCCI, J. C.; BROWN, K.; CROSWELL, P. L.; KEVANY, M. J.; ARCHER, H. **Geographic Information Systems: A guide to the technology**. New York: VanNostrand Reinhold, 1991. 301p.
- BECKER, E. L. S.; PIROLI, E. L.; BOLFE, E. L. Sensoriamento Remoto: Uma Abordagem contextualizada na história. **Ciência Geográfica**, Bauru, v. 2, n. 19, p. 69-75, 2001.
- BERRY, B. J. L. Approaches to regional analyses: a synthesis. **Annals of the Association of American Geographers**, Washington, v. 54, n.1, p. 1-11, 1964.
- BUNGE, W. **Theoretical Geography**: Lund Studies in Geography. Lund: C.W.K. Gleerup, 1962. 151p.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNEL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998. 291p.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Tendências de Evolução do Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. (Org.) **Sistemas de Informações Geográficas**. (2 ed.) Brasília: Embrapa, 2003. Cap. XX, p. 411-424.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. Representações Computacionais do Espaço: fundamentos epistemológicos da ciência da informação. **Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 1, p. 83-96, 2003.
- CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. (Ed.). **Models in Geography**. London: Methuen, 1967.
- CHRISTOFOLETTI, A. As Perspectivas dos Estudos Geográficos. In: _____. (Ed.) **Perspectivas da Geografia**. (2 ed.) São Paulo: Difel, 1985. Cap. I, p. 11-36.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher, 1999. 236p.

COPPOCK, J. T.; RHIND, D. W. The History of GIS. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. (Ed.). **Geographical Information Systems**. New York: John Wiley and Sons, 1991. v. 1, p. 21-43.

DRUCK, S.; BRAGA, L. P. V. **Análise e Classificação de Dados de Solos por Geoestatística e Lógica Difusa**. Relatório Interno. Rio de Janeiro: Embrapa, 1995.

FERREIRA, M. C. **Procedimento Metodológico para Modelagem Cartográfica e Análise Regional de Epidemias de Dengue em Sistema de Informação Geográfica**. 2003. 231f. Tese (Livre-Docência em Geografia- Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 619p.

FRANK, A. V.; ENGENHOFER, M. J.; KUHN, W. A perspective of GIS technology in the nineties. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 57, n. 10, p. 1431-1436, 1991.

GOODCHILD, M. F. Geographic Information Science. **Progress in Human Geography**, London, v. 15 n. 2, p. 194-200, 1991.

HÄGERSTRAND, T. The domain of human geography. In: CHORLEY, R. J. (Ed.). **Directions in Geography**. London: Methuen & Co. Ltd., p. 67-87. 1973.

HARTSHORNE, R. **The Nature of Geography**. Lancaster: Association of American Geographers. 1939.

IBM. International Business Machines. **IBM Archives. Valuable Resources on IBM's history. History of IBM**. Disponível em: <<http://www-03.ibm.com/ibm/history/>>. Acesso em: 10 out. 2006.

KEMP, K. **Environmental Modelling with GIS: A Strategy for Dealing with Spatial Continuity**. Santa Barbara: University of California - Department of Geography. NCGIA Technical Report. v. 93, 1993.

MARBLE, D. F. Geographic information systems: an overview. In: PEUQUET, D. J.; MARBLE, D. F. (Ed.) **Introductory Readings in Geographic Information Systems**. London: Taylor and Francis, 1990. Cap. I, p. 8-17.

MATIAS, L. F. SIG: ainda a questão de método. **Geousp**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 21-33, 2003.

MATIAS, L. F. Por uma economia política das geotecnologias. **Geo Crítica - Scripta Nova**. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, v. 8, n.170, p. 1-16, 2004.

NCGIA (National Center for Geographic Information & Analysis). **About GIS**. Disponível em: <<http://www.ncgia.ucsb.edu/>>. Acesso em: 12 nov. 2006.

NYSTUEN, J. D. Identification of fundamental spatial concepts. In: BERRY, J. (Ed.) **Spatial Analysis: a Reader in Statistical Geography**. New Jersey: Prentice Hall. 1968.

OGC (Open Geospatial Consortium). **About OGC**. 2007. Disponível em: <<http://www.opengeospatial.org/ogc/>>. Acesso em: 20 jun. 2007.

OSSES, J. R.; PAIVA, J. A. C.; CÂMARA, G. Arquiteturas Cliente-Servidor para Bibliotecas Geográficas Digitais. WORKSHOP EM GEO-INFORMÁTICA, 2, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Computação. Disponível em: <<http://www.tecgraf.puc-rio.br/geoinfo2000/>>. Acesso em: 21 jun. 2007.

PAREDES, A. E. **Sistema de Informação Geográfica**: princípios e aplicações. São Paulo: Érica, 1994. 690p.

PARENT, P. J. **Geographic Information Systems**: evolution, academic involvement and issues arising from the proliferation of information. 1988. 285f. Thesis (Master's) - University of Califórnia, Santa Barbara. 1988.

SACK, R. D. A Concept of Physical Space in Geography. **Geographical Analysis**, v. 5, n. 1, p. 16-34, 1973.

SACK, R. D. The spatial separatist theme in Geography. **Economic Geography**, v. 50, n. 1 p. 1-19, 1974.

SCHAEFER, F. K. Exceptionalism in Geography: a methodological examination. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 43, n. 3, p. 226-245, 1953.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-Referenciadas**. Campinas: UNICAMP, 2003. 240p.

SIMONDON, G. **Du Mode D´existence des Objects Techniques**. Paris: Aubier-Montagne. 1969. 266p.

SOTCHAVA, V. B. Por uma Teoria da Classificação dos Geossistemas da Vida Terrestre. **IGEOG-USP**, São Paulo, n.14, 1978.

SOULÉ, M. What is conservation biology? **BioScience**. v. 35, p.727-734, 1985.

TEIXEIRA, A. L. A.; MATIAS, L. F.; NOAL, R. H.; MORETTI, E. A história dos SIG's. **Fator Gis**. Curitiba, v. 3, n.10, p. 21-26, 1995.

TOBLER, W. R. Automation and Cartography. **Geographical Review**. v. 49, n. 4. p. 526-534, 1959.

TOBLER, W. R. **An Experiment in the Computer Generalization of Maps**. ONR Report, Task 389-137. Michigan: University of Michigan, 1964a. 38p.

TOBLER, W. R. **Geographical Coordinate Computations, Part I**: General Considerations. ONR Report, Task 389-137. Michigan: University of Michigan, 1964b. 34p.

UCSB (University of California at Santa Barbara). **Alexandria Digital Library**. 2004. Disponível em: <<http://alexandria.sdc.ucsb.edu/>>. Acesso em: 21 jun. 2007.

Recebido em maio de 2007

Revisado em junho de 2007

Aceito em julho de 2007