

Especialização em Mineração e Meio Ambiente

Fundamentos de Geoprocessamento
aplicados à Mineração

Marcelo Henrique Siqueira de Araújo

Fundamentos de Geoprocessamento aplicados à Mineração

Cruz das Almas - BA

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

A663f

Araújo, Marcelo Henrique Siqueira de.

Fundamentos de geoprocessamento aplicados à mineração / Marcelo Henrique Siqueira de Araújo. – Cruz das Almas, BA: UFRB, 2017.

58p.; il.

ISBN: 978-85-5971-034-2

1.Geoprocessamento – Minas e recursos minerais. 2.Geoprocessamento – Meio ambiente. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Superintendência de Educação Aberta e a Distância. II.Título.

CDD: 528

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA - UFRB

Silvio Luiz de Oliveira Soglia

Reitor da Universidade Federal da Bahia - UFRB

Georgina Gonçalves dos Santos

Vice Reitora da Universidade Federal da Bahia - UFRB

SUPERINTENDÊNCIA DE EDUCAÇÃO ABERTA E A DISTÂNCIA-SEAD

Ariston de Lima Cardoso

ariston@ufrb.edu.br

Superintendente – Coordenador UAB

Docente/CETEC

Adilson Gomes dos Santos

adilsongomes@ufrb.edu.br

Coordenador Adjunto UAB

Docente/CETEC

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS - CCAAB

Elvis Lima Vieira

e-mail: elvieira@ufrb.edu.br

Diretor

Josival Santos Souza

e-mail: jsouza@ufrb.edu.br

Vice-Diretor

Marcela Rebouças Bomfim

reboucas.marcela@ufrb.edu.br

Coordenador do Curso Especialização
em Mineração e Meio Ambiente - Ead

Giselle Chagas Damasceno

gdamasceno@ufrb.edu.br

Vice-Coordenador do Curso Especialização
em Mineração e Meio Ambiente - Ead

EQUIPE DE PRODUÇÃO DA SEAD

Agesandro Azevedo Carvalho

agesandro@ufrb.edu.br

Técnico em Assuntos Educacionais

Dayane Sousa Alves

Assistente em Administração/ Chefe do Núcleo de
Mídias

Sabrina Carvalho Machado

sabrina@ufrb.edu.br

Assistente em Administração

Alberto Roque Cerqueira de Azevedo

Técnico em Audiovisual

Luiz Artur

Assistente em Administração

Carlos André Lima de Matos

Diagramador - Estagiário

Jônatas de Freitas Santos

moodle@ufrb.edu.br

Técnico em Informática

Lailson Brito dos Santos

lailsonsantos10@hotmail.com

Estagiário

Raimar Ramos de Macedo Filho

Diagramador - Estagiário

SEAD - UFRB

Casa Nº 1 - Campus Universitário. Telefone: (75) 3621-6922.

Rua Rui Barbosa, 710 - Centro. Cruz das Almas-BA

APRESENTAÇÃO

Prezado(a) Aluno(a),

Nas últimas décadas, as pessoas têm vivenciado um enorme avanço tecnológico por meio da disponibilidade de diversificados equipamentos e sistemas informatizados os quais ampliaram a capacidade de comunicação, bem como o acesso a dados e informações. Dentre estas tecnologias destacamos aquelas relacionadas à coleta, armazenamento, compartilhamento e análise de dados geográficos – o geoprocessamento, hoje bastante acessível, inclusive por meio de aparelhos de telefonia móvel e de sistemas web, disponíveis na internet.

O objetivo do curso “**Fundamentos de Geoprocessamento aplicado à Mineração**” é contribuir para o conhecimento sobre as técnicas de geoprocessamento e suas aplicações na área de Mineração e Meio Ambiente, de modo que sejam potencializados os usos dessas tecnologias para o planejamento, gestão, monitoramento e controle da atividade de mineração, ainda que seja um curso de natureza introdutória.

O curso será desenvolvido em 2 unidades: na primeira, trataremos de questões básicas relacionadas ao uso das geotecnologias e na segunda, voltaremos mais especificamente sobre os exemplos aplicáveis na área de Mineração e Meio ambiente.

Para a primeira unidade recomendamos como referência bibliográfica básica a publicação “Introdução ao Geoprocessamento: princípios básicos e aplicação”¹, das autoras Emilia Hamada e Renata Ribeiro do Valle Gonçalves, acessível na página da Embrapa.

Bom curso a todo(a)s!

¹http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_67.pdf



Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Geoprocessamento como Ferramenta de Suporte à Decisão | 9 |
| 2 | As Tecnologias de Geoprocessamento e suas Aplicações | 11 |
| 3 | Geotecnologias aplicadas aos Estudos Geológicos e Prospecção Mineral | 27 |
| 4 | Geoprocessamento aplicado à Gestão da Mineração | 33 |
| 5 | Geotecnologias e o Controle Social da Mineração | 41 |
| 6 | Considerações Finais | 47 |
| | Referências Bibliográficas | 51 |



1. Geoprocessamento como Ferramenta de Suporte à Decisão

O atual modelo de desenvolvimento tem se baseado na expansão desordenada das atividades humanas, em decorrência da falta de planejamento, isto tem sido a grande causa da degradação ambiental.

A humanidade tem ocupado e modificado a paisagem com suas atividades, quase nada reservando para a manutenção de ecossistemas naturais e das variadas formas de vida que ocupam o globo terrestre. Muitas espécies estão sob séria ameaça de desaparecimento, assim como grande parte dos ecossistemas naturais. Estes, quando não desaparecem, ficam irremediavelmente modificados, acarretando riscos que afetam a qualidade de vida das atuais e, especialmente, das futuras gerações.

Diversos exemplos de alterações das paisagens naturais, em consequência das atividades econômicas, podem ser citados. Neste contexto, a mineração tem sido uma das atividades mais impactantes, desde longo tempo, por meio da movimentação de material geológico e criação de formas de relevo, seja nos terrenos escavados, ou naqueles produzidos por deposição de material estéril, ou ainda naqueles afundados por movimentos de massa ou colapsos e subsidências. Assim, a mineração é capaz de alterar e até mesmo inverter processos e formas do relevo na escala do tempo histórico-humano (SILVA; VALADÃO, 2016).

Com muito custo, o homem tem se dado conta da importância de planejar e monitorar suas atividades de modo que exerçam impacto o mais reduzido possível no meio natural. Em meio ao debate, toma corpo o conceito de conservação, o qual considera o relacionamento do homem com a terra e de como os seus recursos são utilizados. O objetivo é determinar e pôr

em prática, como o homem pode satisfazer suas demandas físicas e estéticas sem danificar a capacidade da terra para continuar atendendo as necessidades das gerações atuais e futuras.

O homem vem tentando assimilar que os princípios ecológicos devem ser aplicados para formular sistemas de uso e manejo estáveis e adequados para diferentes tipos de ecossistemas. É preciso advertir que a terra é necessária para diversos propósitos, para produção de alimentos, para finalidades urbanas e industriais e também para recreação; precisa-se da terra, também, em seu estado natural para servir de áreas de referência para estudos científicos, como habitat para a fauna e flora, e como grande repositório de material genético, que pode ser de grande valia para o futuro (DOWNES, 1983). Considerar todos estes aspectos, inclusive a diversidade social e cultural existente dentro da sociedade, é o grande desafio de quem planeja as atividades econômicas e os investimentos em infraestrutura.

Neste contexto, as tecnologias de geoprocessamento são fundamentais para sistematizar os dados e informações geográficas com vistas a orientar decisões sobre o uso dos recursos naturais, dentro de uma abordagem conservacionista, sendo necessária a avaliação dos aspectos físicos, biológicos, sociais, culturais, econômicos e políticos que envolvem a alocação das mais diversas atividades humanas, sejam elas extrativistas, agrícolas, industriais, urbanas ou mesmo para a conservação (FAO, 1976; LOPES ASSAD, 1995; ALMEIDA et al., 2002).



2. As Tecnologias de Geoprocessamento e suas Aplicações

O geoprocessamento envolve um conjunto de tecnologias para a coleta, tratamento, análise e visualização de dados e informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações (TEIXEIRA et al., 1992). As tecnologias aplicadas às funções citadas são comumente denominadas de geotecnologias.

O geoprocessamento incorpora e amplia as funções dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), incluindo os Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS) e as tecnologias de Sensoriamento Remoto (SR).

Segundo Fitz (2008), uma informação pode ser considerada como um conjunto de dados e registros interpretados e dotados de significado lógico, enquanto um sistema pode ser entendido como um conjunto integrado de elementos interdependentes, organizado de tal forma que estes possam relacionar-se para a execução de determinada função. Finalmente, um sistema de informação seria compreendido como um sistema utilizado para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados e informações a ele vinculados.

A Natureza dos Dados e Informações Geográficas

Para que os dados e informações espaciais possam ser utilizados em um sistema de geoprocessamento, é fundamental que estejam localizados geograficamente na superfície terrestre (georreferenciados). Nos dias atuais, esta é uma questão aparentemente simples, desde o desenvolvimento dos sistemas globais de navegação por satélite (GNSS) e da

disponibilização desta tecnologia nos aparelhos de celular, por exemplo.

Posicionar geograficamente um objeto na superfície terrestre, nada mais é que atribuir-lhe coordenadas e, embora, nos dias atuais, isto seja uma tarefa que pode ser realizada com simplicidade, utilizando-se das redes de satélites artificiais que integram o GNSS, este foi um dos grandes desafios científicos que o ser humano se defrontou, envolvendo dois ramos da ciência, a **Cartografia** e a **Geodésia** (MONICO,2000). Ao longo de muitos anos, os estudos evoluíram para a definição de sistemas de coordenadas terrestres ou coordenadas geográficas, as quais compreendem uma rede de quadrículas definidas pela intersecção de meridianos e paralelos.

Os **meridianos** constituem grandes círculos que envolvem a esfera terrestre cujo plano contém o eixo dos polos. A **longitude** de um lugar é a distância expressa em graus, minutos e segundos entre o meridiano do lugar e o meridiano de Greenwich, tomado como ponto de origem. A Longitude mede de 0 a 180° Leste ou Oeste (Fig. 2.1).

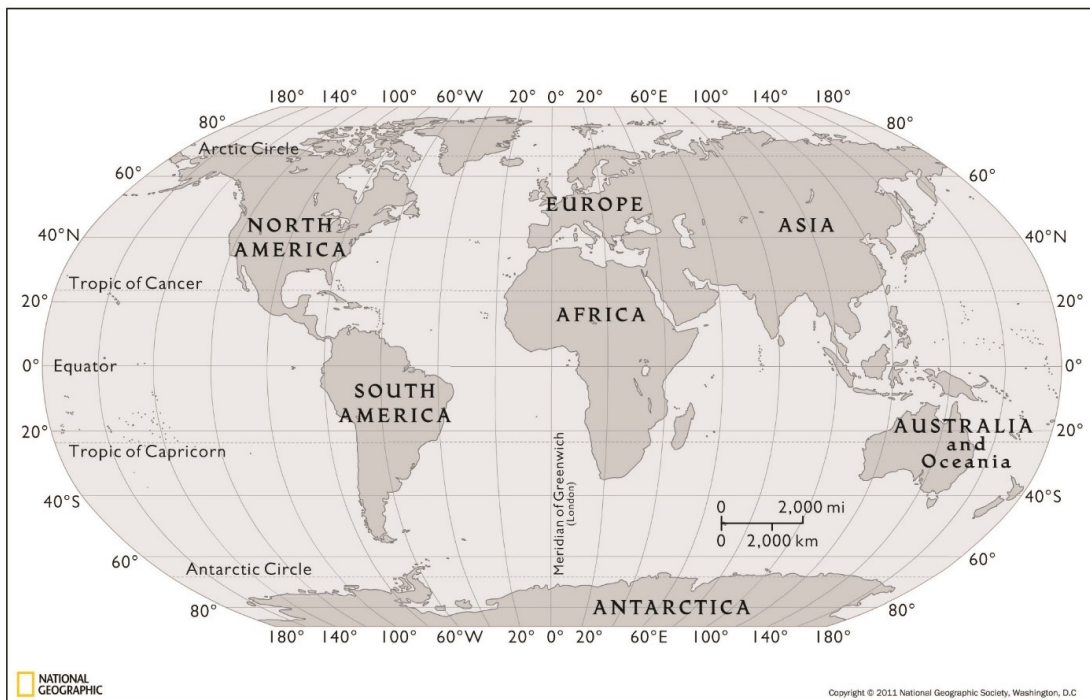
Os **paralelos**, por sua vez, são círculos da esfera terrestre cujo plano é perpendicular ao eixo dos polos, tendo sua origem no Equador geodésico, o qual constitui o círculo máximo, definido num modelo esférico ou elipsoidal da Terra. O plano do equador geodésico é a referência para a medição das **latitudes**, de 0° a 90°, para Norte e para Sul, também medidos em graus, minutos e segundos (Fig. 2.1).

Considerando que a Terra tem o formato de um geóide, a definição das localizações geográficas em uma superfície plana (os mapas) exige a adoção de um Sistema de Projeção Cartográfica.

Segundo Joly (2013), as projeções cartográficas são soluções geométricas essenciais para a elaboração dos mapas e localizações geográficas, existindo mais de uma dezena delas, cada uma com suas aplicações e características.

A diversidade de sistemas de projeção exige atenção dos usuários das técnicas de geoprocessamento, pois a definição do sistema mais adequado às características do projeto a ser desenvolvido constitui uma etapa essencial no uso das geotecnologias, uma vez que todos os dados e informações devem estar geograficamente localizados e ajustados ao mesmo sistema de coordenadas e projeção cartográfica.

Figura 2.1: Mapa Mundi identificando Paralelos e Meridianos, as Latitudes e Longitudes.



Fonte: National Geographic.

Na definição dos parâmetros cartográficos para o desenvolvimento de um projeto usando as técnicas de geoprocessamento, convém observar a importância da adoção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Fitz (2008) relata que cada país adota um sistema de referência próprio, baseado em parâmetros predeterminados a partir de normas específicas.

Um sistema geodésico consiste em um sistema de referência composto por uma figura geométrica representativa da superfície terrestre (esferoide), posicionada no espaço, permitindo a localização única de cada ponto da superfície em função de suas coordenadas tridimensionais, e materializado por uma rede de estações geodésicas (IBGE,2017). Para a determinação das coordenadas, como latitude, longitude e cálculo da altitude, é necessário um sistema geodésico de referência para sua definição.

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), por exemplo, é composto por redes de altimetria, gravimetria e planimetria. Cada sistema geodésico adota um conjunto de parâmetros específicos que definem um DATUM, que é um modelo matemático teórico da representação da superfície da Terra ao nível do mar fundamental para o correto posicionamento geográfico e produção cartográfica. No caso do SGB, foi adotado recentemente o DATUM SIRGAS 2000, que deve ser informado quando da coleta de dados por satélite e organização das bases

cartográficas, na ausência do SIRGAS 2000.

Ainda se referindo às características dos dados utilizados em sistemas de geoprocessamento, importante destacar os formatos raster e vetorial. No primeiro caso, também chamado matricial, os dados são apresentados em um formato de imagens constituídas de células ou pixels que formam linhas e colunas. Conforme apresentado por Hamada e Gonçalves (2007), a célula indica a unidade elementar da superfície representada e o seu tamanho é denominado de resolução espacial, assim quando menor o tamanho da célula, maior a resolução espacial e a definição da imagem. No formato vetorial, o elemento fundamental são pontos, tais pontos podem constituir linhas e polígonos, estes últimos são linhas fechadas que representam áreas.

A depender do sistema de geoprocessamento utilizado, os dados raster e vetorial podem ser representados por formatos específicos ou nativo do *software* a ser utilizado. Os primeiros são muito conhecidos nos formatos de imagens JPEG, BMP, TIFF, enquanto os segundos, são conhecidos no formato DXF, DWG, comuns nos programas CAD (*computer aided design*) e Shapefiles (SHP), nativo da empresa ESRI®. Os serviços disponibilizados pelo Google® utilizam o formato KML. A Tabela (2.1) apresenta as principais diferenças, vantagens e desvantagens no uso dos formatos vetoriais e matriciais.

Tabela 2.1: Vantagens e desvantagens dos formatos de dados Vetorial e Matricial (raster).

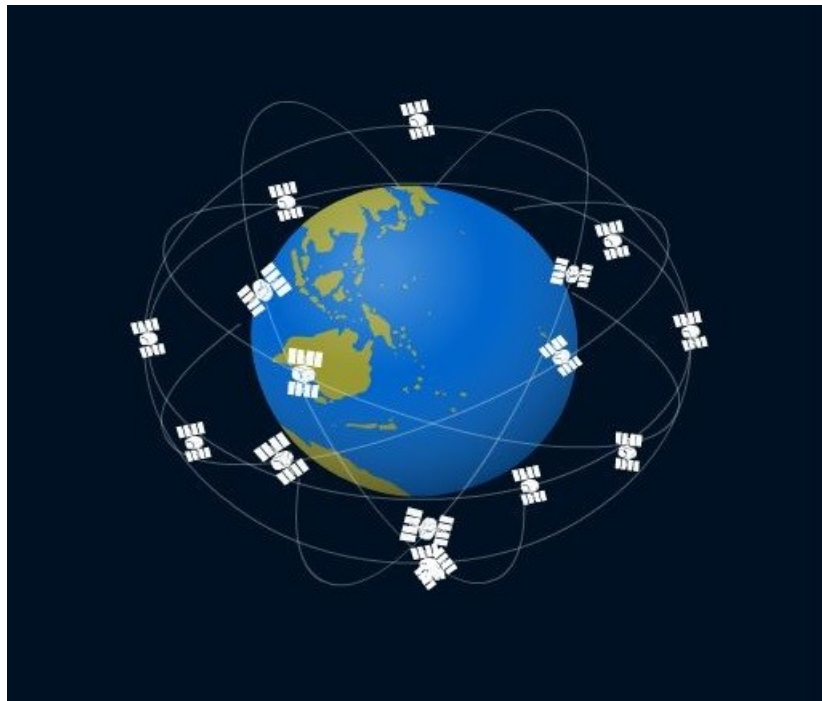
| Aspecto | Formato Vetorial | Formato Matricial |
|----------------------------------|--|--|
| Relações espaciais entre objetos | Relacionamentos espaciais entre os objetos melhor definidos | Relacionamentos espaciais devem ser inferidos |
| Ligação com banco de dados | Facilita associar atributos a elementos gráficos | Associa atributos apenas a classes do mapa |
| Análise, Simulação e Modelagem | Representação indireta de fenômenos contínuos Álgebra de mapas é limitada | Representa melhor fenômenos com variação contínua no espaço Simulação e modelagem mais fáceis |
| Escalas de trabalho | Adequado tanto a grandes quanto a pequenas escalas | Mais adequado para pequenas escalas (1:25.000 e menores) |
| Algoritmos | Problemas com erros geométricos | Processamento mais rápido e eficiente |
| Armazenamento | Por coordenadas (mais eficiente) | Por matrizes |

Adaptado de : http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html

Sistema Global de Navegação por Satélite

Conforme já citado, uma tecnologia que se popularizou e constitui essencial para o trabalho com geoprocessamento é o GNSS, *Global Navigation Satellite Systems* ou Sistema Global de Navegação por Satélite, o qual designa os sistemas de satélites que calculam a localização geográfica ou posicionamento geoespacial com cobertura terrestre global. O GNSS constitui um elenco de tecnologias que interagem com o geoprocessamento, auxiliando, sobretudo, na aquisição de dados de campo e na sua localização geográfica (georreferenciamento).

Figura 2.2: Satélites do Sistema NAVSTAR de Posicionamento Global (GPS).



Fonte: Adaptado de Atlas Escolar IBGE,2017

O sistema pioneiro e mais conhecido é o NAVSTAR/GPS, desenhado e controlado, pelo governo americano (Fig. 2.2). Este sistema é composto por uma rede de 25 satélites, em órbita da terra, a partir dos quais torna-se possível o cálculo das coordenadas para o georreferenciamento de qualquer ponto da superfície terrestre. Os satélites estão posicionados numa distância de aproximadamente 20.000 km em relação à superfície terrestre e emitem sinais que são capturados pelos receptores GPS no terreno.

Para o cálculo das coordenadas de posicionamento geográfico, é necessário a recepção de sinais de pelo menos 4 satélites, alertando que a recepção do sinal pode ser prejudicada por

barreiras físicas, assim para uma recepção adequada convém estar em uma área de campo aberto ou clareira.

Devido ao pioneirismo do sistema desenvolvido pelo governo americano, em operação ampla desde 1995, tornou-se comum o uso do nome GPS para designar todos os sistemas em operação e mesmo os aparelhos receptores.

Contudo, considerando a importância estratégica que envolve a determinação da localização geográfica, tanto para fins civis, como a navegação aérea e marítima, quanto para fins militares, alguns países desenvolveram ou estão desenvolvendo seus próprios sistemas GNSS. A Rússia já tem em funcionamento o GLONASS, a Comunidade Europeia vem desenvolvendo o GALILEO, a China também lançou seu próprio sistema em 2013, denominado COMPASS. Índia e Japão também têm seus próprios sistemas (MONSERRAT FILHO, 2013).

O sistema russo, denominado GLONASS, está em operação desde 2011 e é formado por uma rede de 24 satélites, apresentando alcance global. Embora não tenha a mesma cobertura que o NAVSTAR, tem apresentado precisão similar. A maioria dos receptores de sinais GNSS mais recentes funcionam tanto por meio dos satélites do NAVSTAR, quanto por meio do sistema GLONASS, ampliando assim a facilidade e exatidão do posicionamento geográfico.

Em relação à adoção, nos aparelhos receptores, do Sistema Geodésico Brasileiro, mais especificamente a inclusão do DATUM SIRGAS 2000 ainda não foi verificado em nenhum equipamento, nestes casos recomenda-se ao usuário a selecionar o DATUM WGS 84, que apresenta melhor compatibilidade com o Sistema Geodésico Brasileiro.

Para maior conhecimento ou consulta de dúvidas quanto ao Sistema Geodésico Brasileiro, consulte a página do IBGE com perguntas e respostas sobre a questão. O IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística responde oficialmente pelos temas relacionados à cartografia nacional.

Sensoriamento Remoto

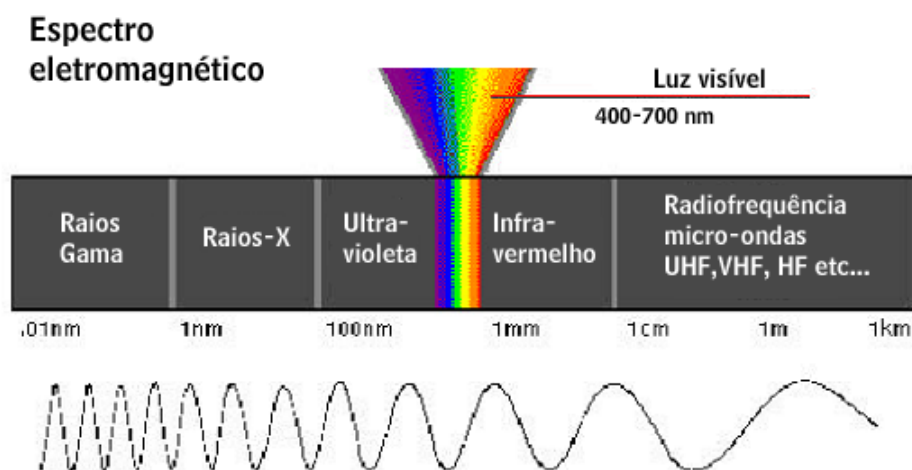
O sensoriamento remoto (SR) caracteriza-se por meio da obtenção à distância de dados da superfície terrestre, para tanto são utilizados sensores aerotransportados (a bordo de

aeronaves) ou orbitais (a bordo de satélites em órbita da Terra).

A obtenção de dados da superfície terrestre por meio do sensoriamento remoto facilita o acompanhamento e avaliação da evolução da paisagem e das formas da superfície terrestre, permitindo conseqüentemente, o seu monitoramento no longo prazo.

Os sensores registram as imagens por meio da radiação eletromagnética que pode ser emitida diretamente pelo sensor (sensor ativo) ou pelo sol (sensor passivo), no primeiro caso temos o RADAR, que opera na faixa de micro-ondas do espectro eletromagnético, e no segundo as imagens mais comuns dos satélites comerciais e as fotografias aéreas, que operam na faixa do visível e do infravermelho (Fig. 2.3).

Figura 2.3: Espectro Eletromagnético – classificação da energia eletromagnética conforme o seu comprimento de onda.



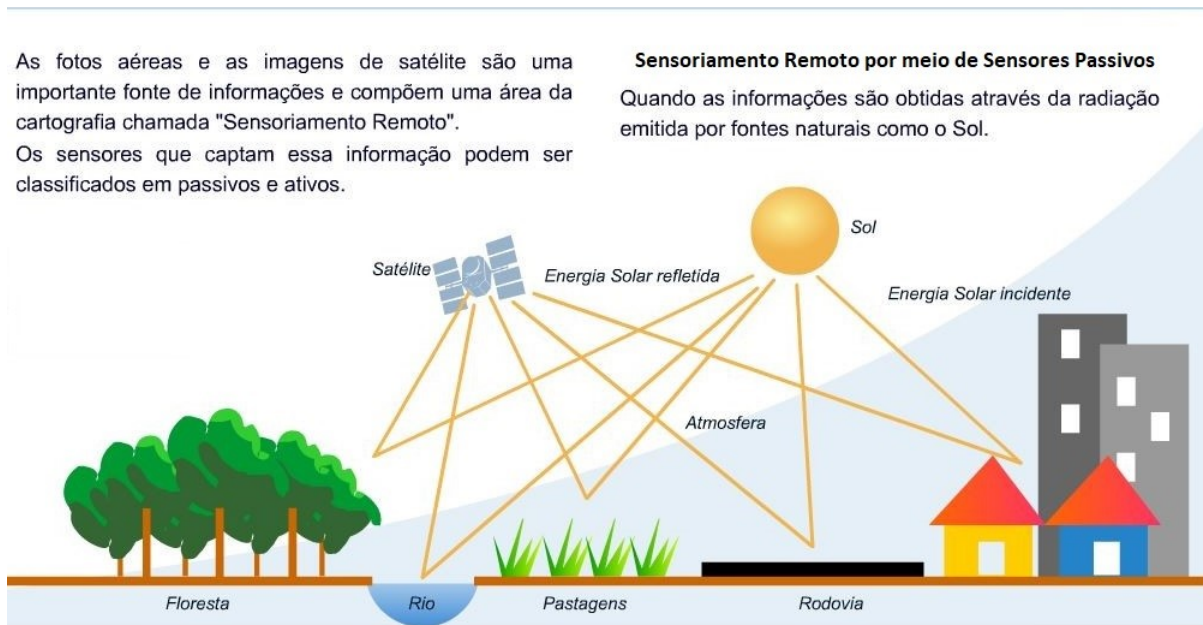
Fonte: <http://ufpa.br/ensinofts/radiologia.html>

Desde 1960, quando se iniciaram as primeiras observações orbitais sistemáticas da superfície terrestre, com o lançamento do satélite meteorológico norte-americano TIROS, foi notável o avanço nesta área, especialmente com o sucesso do programa LANDSAT, série de satélites de sensoriamento remoto, iniciado em 1972. Este programa obteve grande sucesso comercial, reduzindo os custos com aquisição de imagens.

Foram lançados, até o momento um total de 8 satélites Landsat, cada um deles com avanços na tecnologia dos sensores. De particular importância para as aplicações ambientais e geológicas foram os sensores *Thematic Mapper* (TM), *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) e o *Operational Land Imager* (OLI), operando a bordo, respectivamente, dos satélites

Landsat-4 e 5, Landsat-7 e Landsat-8, este último em operação, enquanto os demais já foram desativados.

Figura 2.4: Sensoriamento Remoto Orbital por meio de Sensor Passivo.



Fonte: Adaptado de Atlas Escolar IBGE, 2017.

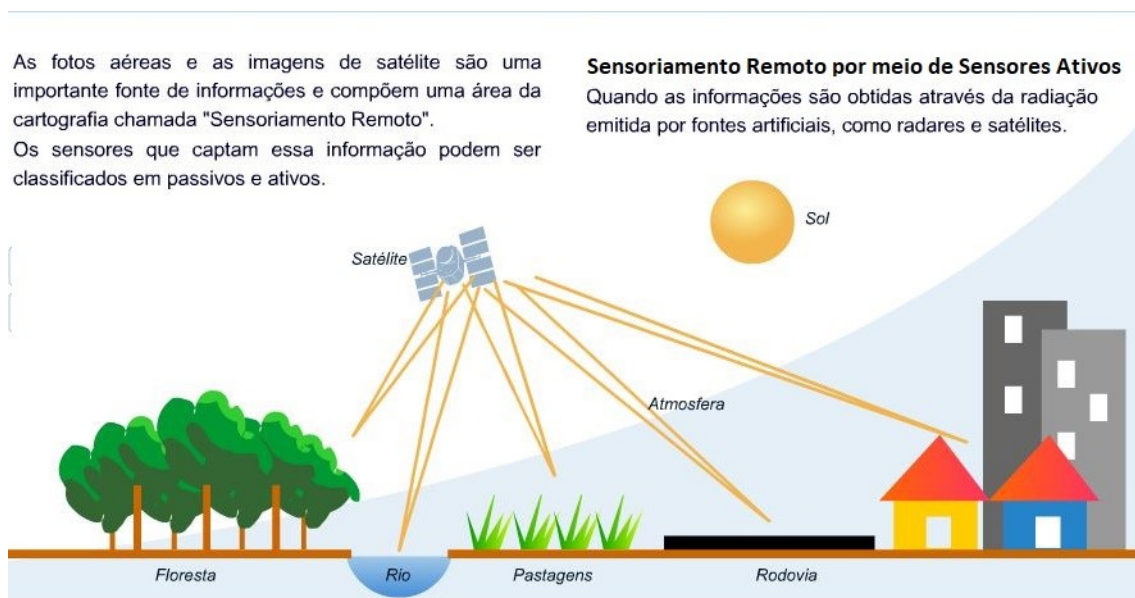
Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto experimentou variadas inovações tecnológicas, dentre elas, é possível destacar os avanços na resolução espacial e espectral dos sensores. No primeiro caso, refere-se à capacidade de o sensor diferenciar os objetos na superfície terrestre em relação ao seu tamanho, atualmente é possível definir alvos com dimensões submétricas, como é o caso dos sensores a bordo dos satélites WorldView. No segundo caso, refere-se a quantas faixas do espectro eletromagnético o sensor registra, os primeiros equipamentos eram pancromáticos, operavam em uma única faixa, evoluíram para os multiespectrais e, atualmente, existem aqueles hiperespectrais que operam em mais de uma centena de bandas ou faixas do espectro eletromagnético (SOUZA FILHO; CRÓSTA, 2003).

O Brasil, por meio de parceria com a China, desenvolveu o satélite CBERS - Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres, já tendo sido lançados 4 satélites, estando em operação o CBERS 4, posto em órbita em 2014 com previsão de operação até 2017. O CBERS 4 tem a bordo 4 sensores pancromático e multiespectrais, com resolução espacial máxima de 5m, para o sensor pancromático e de 20m para o multiespectral.

Epiphanyo (2011) destaca que conforme as características de multirresoluções (tanto espacial, quanto espectral) dos sensores a bordo do CBERS 4, suas aplicações serão abrangentes envolvendo especialmente os usos na área ambiental, a exemplo de monitoramento da vegetação e do desmatamento, bem como de áreas de Reserva Legal e Preservação Permanente. Destaca ainda aplicações na agricultura para o monitoramento dos cultivos e também o monitoramento costeiro.

A partir do início da década de 2000, e com a entrada de empresas comerciais atuando na área do imageamento da superfície terrestre, são vários os satélites e sensores em operação, a Tabela 2.2 reúne informações sobre alguns deles.

Figura 2.5: Sensoriamento Remoto Orbital por meio de Sensor Ativo.



Fonte: Adaptado de: Atlas Escolar IBGE, 2017.

Nos dias atuais, as imagens de satélite geradas por sensores multiespectrais e com alta resolução espacial se popularizaram e estão amplamente disponíveis na internet e nos aparelhos de celular (*smartphones*) por meio dos serviços Google Earth[®] e Google Maps[®].

As imagens dos serviços do Google são multiespectrais e apresentam resolução espacial diversificada, a depender de cada região do globo terrestre. A empresa vem utilizando imagens dos diversos serviços de satélite em operação, além de ter mantido um sistema próprio de imageamento, aquelas de mais alta resolução podem distinguir ruas, casas e veículos na superfície terrestre, tais imagens podem apresentar resolução espacial menor que 1 metro.

Contudo, a atualização da imagem no sistema Google pode demorar até 3 anos, embora a empresa declare o esforço em atualizar anualmente.

Os avanços na área continuam se multiplicando, desta vez com a redução do tamanho dos satélites. A empresa norte-americana Space Labs, proprietária do RapidEye, vem inovando no desenvolvimento de satélites de pequenas dimensões (cubesat ou nano satélites) com elevada capacidade de imageamento da superfície terrestre e almeja alcançar uma constelação com mais de uma centena destes equipamentos em órbita da Terra.

Acesse² um vídeo com uma sucessão de imagens de sensoriamento remoto mostrando a evolução da paisagem na Terra ao longo de 32 anos, o vídeo foi adaptado de uma base de dados organizada pelo *Google Earth Engine*, você pode acessar o trabalho original no link³ abaixo.

²<https://www.youtube.com/watch?v=ZvnPUlsTcJw&feature=youtu.be>

³ <https://earthengine.google.com/timelapse/>

Tabela 2.2: Exemplos de Satélites e Sensores Orbitais.

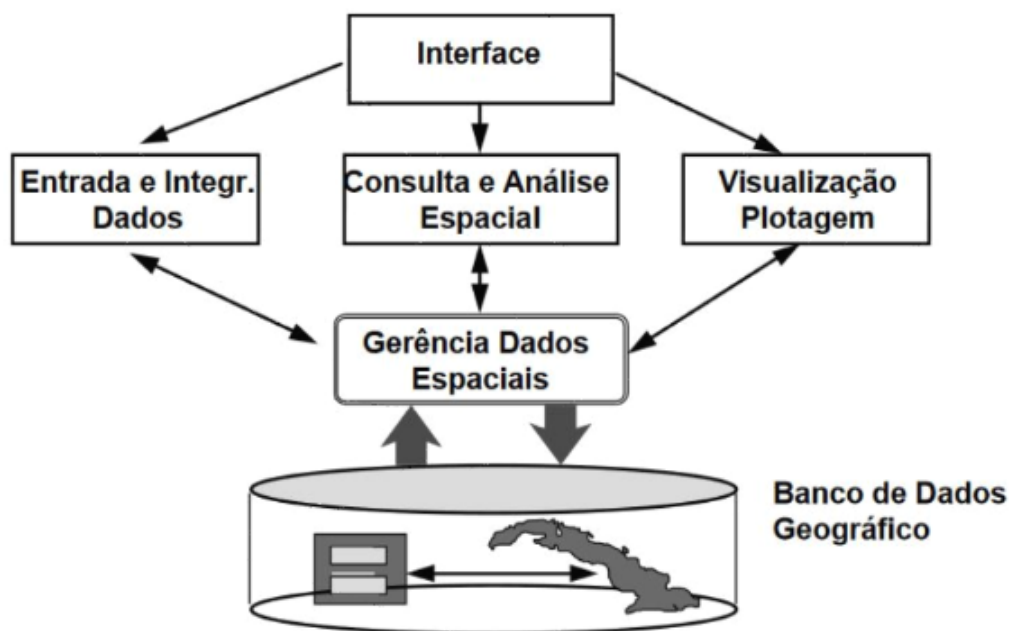
| Satélite/Sensor Comprimentos de ondas (nm) | Resolução Espectral Bandas | Resolução Espacial (m) | Site |
|--|-------------------------------|---------------------------------|---|
| WorldView 4 450-800 450-920 | 1 4 | 0.3 - 1 1.2 - 4 | http://www.digitalglobe.com |
| WorldView 3 450-800 400-1040 1195-2365 405-2245 | 1 8 8 8 | 0.3 - 1 1.2 - 4 3.7 30 | http://www.digitalglobe.com |
| WorldView 2 450-800 400-1040 | 1 8 | 0.5 2 | http://www.digitalglobe.com |
| WorldView 1 400-900 | 1 | 0.5 | http://www.digitalglobe.com |
| RapidEye 440-880 | 5 | 5 - 6.5 | http://planet.com |
| Landsat 8 /ETM+ 500-680 430-2290 10600-12510 | 1 8 2 | 15 30 100 | https://landsat.usgs.gov/landsat-8 |
| TERRA / ASTER 520-860 1600-2430 8125-11650 | 3 6 5 | 15 30 90 | http://asterweb.jpl.nasa.gov |
| SPOT 7 450-745 450-890 | 1 4 | 1.5 6 | http://www.intelligence-airbusds.com |
| EO-1 / Hyperion* 355.59 – 2577.08 | 220 | 30 | https://eo1.usgs.gov/sensors/hyperion |
| QuickBird* 405-1053 430-918 | 1 4 | 0.5 – 1 2-5 | http://www.digitalglobe.com |
| Ikonos* 450-900 450-900 | 1 4 | 1 4 | http://www.digitalglobe.com |

*Imagens disponíveis no acervo histórico, pois os satélites/sensores não estão mais em operação.

Sistemas de Informações Geográficas

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ou *Geographic Information Systems* (GIS) surgiram na década de 60, no Canadá, sendo chamado *Canadian Geographic Information System*. Em seguida, surge nos Estados Unidos um sistema semelhante com o objetivo de auxiliar no manejo dos recursos naturais e no uso da terra. Originalmente, o SIG continha uma estrutura básica voltada para entrada e integração de dados, processamento, análise geográfica e produção cartográfica (Fig. 2.6). Nas décadas posteriores, os sistemas desenvolveram-se e disseminaram-se, especialmente devido aos avanços consideráveis no setor de informática e eletrônica.

Figura 2.6: Estrutura geral de um SIG.



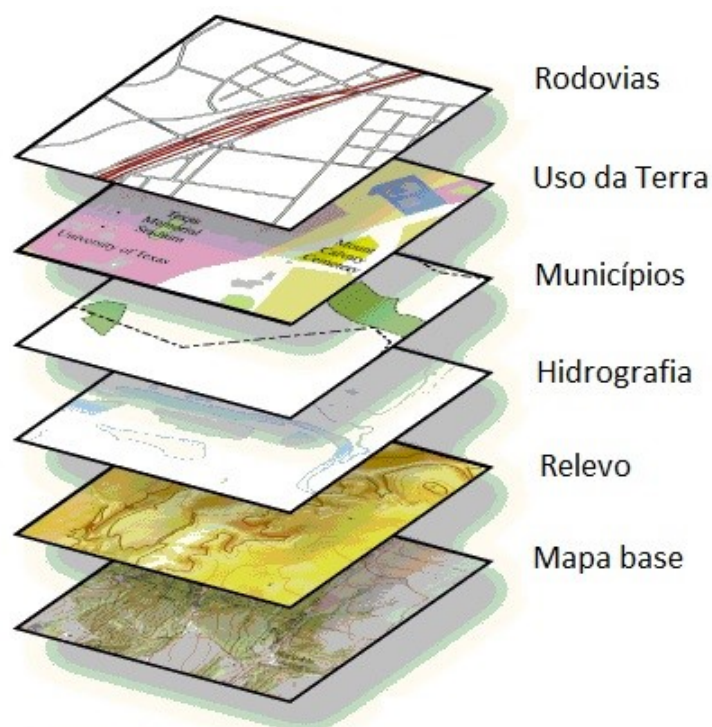
Fonte: CÂMARA E QUEIROZ, 2017.

Os sistemas mais recentes incorporam, além das tradicionais análises geográficas, ferramentas para processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, além da captura e tratamento de dados coletados por meio de GNSS. Atualmente, existem diversos sistemas comerciais disponíveis para os mais variados tipos de aplicação, desde o manejo dos recursos naturais, planejamento agrícola, planejamento urbano, arrecadação de impostos até o marketing. Os sistemas e as tecnologias evoluíram incorporando várias outras áreas do conhecimento, de modo que os SIG se integram ao conceito de Geoprocessamento e/ou Geotecnologias.

A grande diversidade de nomenclaturas nesta área, segundo Fitz (2008), é resultado do uso das técnicas de geoprocessamento nas mais diversas áreas do conhecimento, por parte de equipes multidisciplinares, resultando em uma grande quantidade de conceitos e definições relacionadas. Rocha (2000) cita que o geoprocessamento vem estabelecendo uma nova forma de comunicação entre as várias disciplinas que o utilizam, assim termos como georreferenciamento, geocodificação, digitalização, rasterização, vetorização, topologia, dados espaciais, raster, vetorial, alfanuméricos, metadados, resolução, dentre outros formam um vocabulário utilizado por várias disciplinas e, ao mesmo tempo, não pertencem exclusivamente a nenhuma delas.

Para todos os efeitos, neste texto, serão considerados equivalentes os termos **Geoprocessamento** e **Geotecnologias**, adotando-se o seguinte conceito adaptado de Rocha (2000) e Fitz (2008)– geoprocessamento é um conjunto de tecnologias que possibilitam a coleta, a manipulação, a análise, a simulação de modelagens e a visualização de dados geográficos, integrando várias disciplinas, equipamentos, processos, programas, entidades, dados, metodologias e pessoas para apresentação de informações associadas a mapas digitais.

Figura 2.7: Sobreposição de camadas (*layers*) em um SIG.



Fonte: Adaptado de <https://developers.arcgis.com>.

Fitz (2008) exemplifica que uma aplicação bastante comum do geoprocessamento diz respeito à realização de análises espaciais utilizando mapas temáticos diversos. Por meio da técnica de sobreposição, cada mapa contendo um tema específico, constitui um plano de informação, o qual é sobreposto a outros de temáticas diferentes, mas de igual dimensão e localização espacial, para a obtenção de um produto derivado (Fig. 2.7). Em princípio, esta técnica de sobreposição de mapas (*overlays*) já é historicamente utilizada nas análises geográficas, mas a utilização das ferramentas computacionais permitiu a ampliação deste tipo de análise.

Câmara (1994) apresenta o conjunto básico de funções de um Sistema de Informações Geográficas (SIG):

- **Análise Geográfica** - mediante operações algébricas (adição, subtração, sobreposição e multiplicação de mapas ou exponenciação e transformações logarítmicas), operações de distância, consulta a banco de dados, análises de vizinhança, dentre outras.
- **Processamento Digital de Imagens** - tratamento de imagens de satélite e fotografias aéreas por meio de técnicas de filtragem, análise de histograma, classificação supervisionada e não supervisionada, além de outras.
- **Produção Cartográfica** - produção digital de mapas com recursos sofisticados de apresentação gráfica, permitindo a colocação de legendas, textos explicativos etc.
- **Modelagem Numérica de Terreno** - ou modelo digital de elevação, que representa o relevo em uma estrutura matemática, que permite sua visualização em um formato bi ou tridimensional (MORETTI & TEIXEIRA, 1991). Por meio destes modelos, é possível a extração de informações como, por exemplo, declividade e orientação do terreno (direção em relação ao norte), sendo possível também o cálculo do fator comprimento de rampa, parâmetro L na equação universal de perda de solos, conforme mostram Rocha et al. (1995).
- **Modelagem de Redes** - redes são estruturas lineares conectadas que armazenam dados sobre recursos que fluem entre localizações distintas. Mediante técnicas de geoprocessamento é possível, por exemplo, calcular o caminho ótimo e crítico para a instalação das redes.

No Brasil, o emprego de técnicas de sensoriamento remoto e localização espacial por satélite integradas aos sistemas de informações geográficas para o planejamento e gestão

ambiental intensificou-se a partir da década de 90, conforme mostram alguns dos estudos citados a seguir.

Segundo Lopes Assad (1995), as técnicas de geoprocessamento viabilizam a quantificação automática de áreas, a obtenção de mapas intermediários e permitem a possibilidade de constante atualização das informações geoambientais espacializadas em base cartográfica, devidamente armazenada em suporte informatizado.

Formaggio et al. (1992) destacam as possibilidades de utilização do SIG para o resgate e manipulação dos dados necessários ao planejamento do uso da terra, tendo feito uso do SPRING, um sistema desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Silva et al. (1993), utilizando o programa "*Earth Resources Data Analysis System*" (ERDAS), estabeleceram a integração e análise espacial de dados para a obtenção do potencial produtivo de terras do município de Ubajara (CE) e estudos das mudanças de uso da terra no período de 1958 a 1985. Os autores concluíram que as técnicas de geoprocessamento são de grande utilidade na visualização de variações espaciais e temporais de uso da terra, além de facilitar o armazenamento e transferência de dados, auxiliando na tomada de decisões que conduzam à conservação do solo, água e recursos florestais.

Estudo realizado por Lombardi Neto et al. (1995) em microbacia hidrográfica do município de Iracemápolis-SP objetivou analisar as condições ecológicas locais com vistas à melhoria da qualidade da água que abastece a zona urbana. Neste trabalho, foram identificadas as áreas com maior potencial erosivo, através da equação universal de perda de solos, para as quais foram indicados sistemas de manejo mais adequados às condições ambientais, de forma a diminuir os riscos de erosão e manter a produtividade das culturas.

Santos et al. (2002) identificaram, por meio da interpretação de fotografias aéreas não convencionais e imagens TM-Landsat 5, a distribuição das áreas remanescentes de florestas e manguezais na faixa litorânea da região cacauzeira da Bahia. Os resultados obtidos revelaram a existência de remanescentes florestais ainda significativos nos municípios estudados, demonstrando a urgência na implementação de medidas efetivas para a sua conservação, bem como a ampla possibilidade para a criação de novas áreas protegidas, como forma de evitar a expansão desordenada de loteamentos imobiliários, especialmente sobre os manguezais e restingas.

Entendendo que os SIG são programas de computador, existem vários tipos disponíveis, desde aqueles comerciais, que exigem o pagamento de licença de uso, até aqueles de código aberto, cujo o uso é livremente acessível a todos os interessados.

No caso dos sistemas comerciais, o mais robusto e amplamente utilizado é o ArcGIS® , desenvolvido pela empresa americana ESRI, líder na produção de soluções para a área de informações geográficas.

Quanto aos sistemas de código aberto, o mais utilizado nos dias atuais é o QGIS⁴ , mantido de forma colaborativa por uma comunidade global de desenvolvedores voluntários que regularmente lançam novas versões e ajustes. A iniciativa teve início em 2002, quando o programa recebeu a denominação de Quantum GIS, desde então os desenvolvedores vêm lançando versões atualizadas e já traduziram o QGIS para diversos idiomas e a aplicação é usada internacionalmente em ambientes acadêmicos e profissionais.

⁴http://www.qgis.org/pt_BR/site/



3. Geotecnologias aplicadas aos Estudos Geológicos e Prospecção Mineral

Do conjunto de tecnologias que integram o geoprocessamento, a cartografia e o sensoriamento remoto têm sido, historicamente, aquelas de maior aplicação aos estudos geológicos e, conseqüentemente à mineração, considerando que os estudos básicos em geologia são o primeiro passo na prospecção mineral e posterior exploração. Neste contexto, o projeto Radam constitui o primeiro esforço integrado de levantamento e mapeamento dos recursos naturais no Brasil, usando as tecnologias de sensoriamento remoto.

A contribuição do Radambrasil

O Radam foi um projeto do Ministério das Minas e Energia, criado na década de 1970 e em execução até 1985, teve o objetivo inicial de fazer um levantamento dos recursos naturais da Amazônia, daí o nome Radam – Radar da Amazônia, em seguida foi expandido para o restante do país, passando a denominar-se Radambrasil. Como dito, o projeto teve como um dos objetivos proceder o levantamento dos recursos minerais do Brasil e, para tanto, utilizou-se do sensoriamento remoto por imagem de radar e aerofotogrametria, obtendo-se um mapeamento completo do território nacional.

Segundo Escobar et al. (2005), em outubro de 1970 foi criada a comissão do **Projeto Radam**, objetivando, principalmente, coletar dados sobre recursos minerais, solos, vegetação, uso da terra e a cartografia da Amazônia e áreas adjacentes da região Nordeste. Em junho de 1971 foram iniciados os voos para imageamento. Devido aos bons resultados do projeto

Radam, em Julho de 1975 o levantamento de radar foi expandido para o restante do território nacional, passando a ser executado pelo **Projeto Radambrasil**.

Ainda segundo Escobar et al. (2005), nos projetos Radam e Radambrasil, a plataforma utilizada foi uma aeronave, voando em altitude média de 12 km, tendo utilizado o sistema imageador GEMS (Goodyear Mapping System 1000), operante na banda X (comprimentos de onda próximos a 3 cm e frequência entre 8 e 12,5 GHz). Os registros obtidos pelos projetos Radam e Radambrasil foram organizados e disponibilizados em 550 mosaicos de radar na escala 1:250.000.

Os levantamentos realizados pelo Radam abrangiam as áreas de geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, potencial de recursos hídricos e uso potencial da terra, em todos os casos existiram trabalhos de campo, incluindo análise da qualidade da água e coleta de material botânico.

O Radambrasil disponibilizou o material cartográfico em papel comum e fotográfico, não usou nenhum tipo de tecnologia digital, característica básica do geoprocessamento, pois, à época, as tais tecnologias não eram ainda tão amplamente disponíveis. Independente disto, o Radam foi um trabalho pioneiro no uso da cartografia e do sensoriamento remoto em larga escala, com aplicações na área de recursos naturais. Atualmente, os seus dados já foram convertidos para o formato digital, podendo assim, ser integrados às plataformas informatizadas.

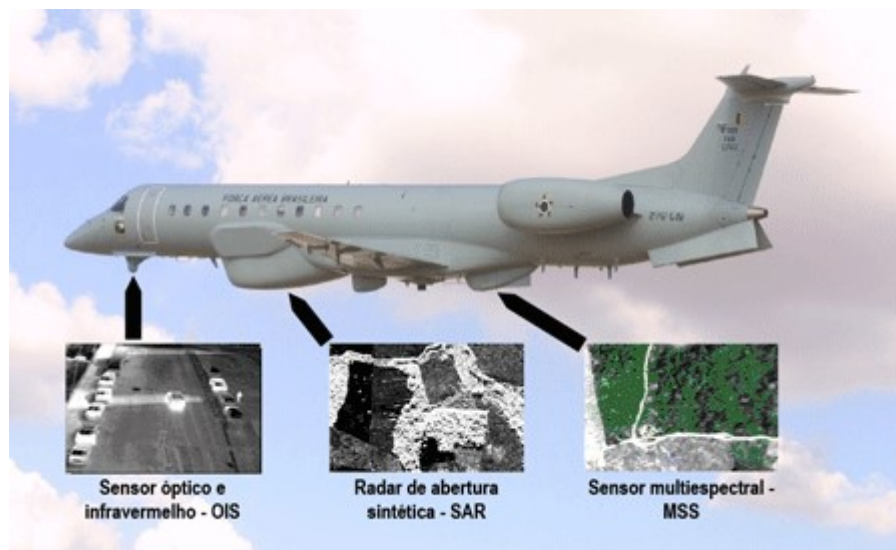
O SIPAM – Sistema de Proteção Ambiental da Amazônia

Outro grande programa governamental relacionado ao levantamento de recursos naturais é o **Sipam (Sistema de Proteção da Amazônia)**, o qual já foi projetado dentro de uma concepção de desenvolvimento e uso das tecnologias digitais, tendo uma amplitude, não apenas de levantamento de recursos naturais, mas também de proteção da região contra diversos tipos de ameaça, como o tráfico de drogas, as guerrilhas em países vizinhos, o contrabando de animais, a invasão de terras indígenas, o garimpo e o desmatamento ilegais, entre outros.

O programa coleta dados e informações geográficas da região amazônica por meio de um

aparato tecnológico único no país e conta com dados obtidos de quatro sensores transportados a bordo de aeronaves (Fig. 3.1).

Figura 3.1: Sensores Remotos Aerotransportados em uso pelo SIPAM.



Fonte: CENSIPAM,2017a.

O sensor SAR (*Synthetic Aperture Radar*), um radar, opera na faixa do micro-ondas, a qual permite a aquisição de imagens independente das condições climáticas. Desta forma, as imagens radar podem ser geradas em qualquer altura, durante o dia ou à noite e sobre as mais variadas condições atmosféricas, o que constitui uma grande vantagem para o imageamento de regiões tropicais, onde a presença de vapor d'água na atmosfera interfere na qualidade do imageamento por sensor ótico, aqueles que operam na faixa no visível e infravermelho do espectro eletromagnético (CENSIPAM, 2017a).

O sensor hiperespectral HSS e o multiespectral MSS complementam os dados de radar, unindo características de alta resolução espectral e alta resolução espacial, ou seja, operam em um grande número de faixas do espectro eletromagnético (50 e 31 bandas, respectivamente) e conseguem distinguir alvos na superfície terrestre distantes até 2 metros. Conjugados, os sensores do SIPAM permitem a obtenção de informações mais detalhadas do território, seus recursos e formas de utilização (CENSIPAM, 2017a).

Fazendo uso das geotecnologias elencadas acima, o SIPAM vem desenvolvendo o Projeto Cartografia da Amazônia, por meio de parceria com o Exército, Marinha, Aeronáutica e a CPRM (Serviço Geológico do Brasil). A iniciativa almeja concluir as cartografias terrestre, geológica e

náutica dos 35% do território da região da Amazônia sem informações na escala de 1:100.000. A proposta de acabar com os “vazios cartográficos” contribuirá no desenvolvimento econômico, social e na proteção da região amazônica. Dos 5,2 milhões de quilômetros quadrados da Amazônia Legal, 1,8 milhão de quilômetros quadrados não há informações cartográficas na escala 1:100.000. Esses vazios concentram-se nos estados da Amazônia, Pará, Amapá, Mato Grosso e parte do Acre, Maranhão e Roraima (CENSIPAM, 2017b).

A elaboração da cartografia básica é fundamental para o planejamento e execução dos projetos de infraestrutura como rodovias, ferrovias, gasodutos e hidrelétricas, além da demarcação de áreas de assentamentos, áreas de mineração, agronegócio, segurança territorial, contribuindo assim para o ordenamento territorial e a tomada de decisão quando ao uso dos recursos naturais.

Sensoriamento Remoto na Prospecção Mineral

Crosta et al. (2016) destacam que o Sensoriamento Remoto tem sido uma das técnicas mais utilizadas na prospecção mineral. Os autores indicam que os sensores a bordo de satélites que têm maior potencial de aplicação em estudos geológicos são os dos satélites da série Landsat, o Terra/ASTER e, mais recentemente, a constelação de satélites WorldView, todos eles operando nas faixas do visível e infravermelho do espectro eletromagnético (Fig. 2.3). Já os radares operando a bordo de satélites e que têm sido mais extensivamente utilizados em estudos geológicos exploratórios são o Radarsat, o ALOS/PALSAR e o TerraSAR-X.

Os mesmos autores chamam a atenção para o ganho de resultados por meio do uso integrado de sensores operando nas regiões do espectro eletromagnético do visível ao infravermelho termal, combinada com radares operando na região das micro-ondas, tal articulação de sensores permitiria a obtenção de um extenso e importante conjunto de informações químico-físicas sobre os fenômenos e materiais presentes na superfície terrestre, dentre os quais as rochas e os minerais de forma direta ou indiretamente.

Crosta et al. (2016) citam ainda a utilização de tecnologias avançadas de sensoriamento remoto operando a partir de aeronaves com grande potencial para aplicações em exploração mineral e monitoramento da atividade, contudo o custo elevado ainda restringe a utilização,

fora do âmbito dos grandes programas governamentais, como o já citado SIPAM.

Diversos estudos apontam a viabilidade da utilização de imagens de satélite na identificação e delimitação preliminar das áreas favoráveis às ocorrências minerais, sem a necessidade de um conhecimento detalhado da geologia da região, que na maioria das vezes não existe, a um custo muito menor e em prazos bem mais reduzidos (CROSTA et al., 2016; CARRINO et al., 2013; SILVA et al., 2009; CARRINO et al., 2009; BEDELL, 2004; SOUZA FILHO E CRÓSTA, 2003).

Os autores consultados destacam especialmente as aplicações dos sensores remotos hiperespectrais, aqueles que operam com centenas de faixas estreitas e contínuas do espectro eletromagnético (Fig. 2.3). As respostas espectrais extraídas das imagens podem ser comparadas diretamente com espectros medidos no campo ou em laboratório, definindo assim assinaturas específicas para cada alvo da superfície terrestre, existindo inclusive um conjunto de minerais cuja assinatura espectral já se encontra disponível no acervo de diversas instituições de pesquisa, facilitando assim a comparação. Como os minerais e seus constituintes interagem com a radiação eletromagnética de formas distintas, revelando respostas espectrais específicas, o grande número de bandas dos sensores hiperespectrais amplia o potencial para a sua identificação.

O sensor hiperespectral Hyperion, com 242 bandas espectrais, cobrindo o intervalo do espectro do visível ao infravermelho, trouxe grandes contribuições para a análise dos constituintes na superfície terrestre. Foi lançado em órbita, pela Nasa, no ano de 2000, a bordo do satélite Earth Observing-1 (EO-1), com planejamento para operar por até 18 meses, mas manteve-se ativo até março de 2017 (ver Tabela 2.1).

Silva et al. (2009) encontraram resultados positivos para o mapeamento mineralógico de pegmatitos, na região Nordeste do Brasil (Estado da Paraíba), utilizando imagens hiperespectrais do sensor Hyperion. Os pegmatitos são rochas ígneas que frequentemente contêm minerais metálicos, minerais gemas (Turmalina), além de caulim e feldspatos que têm interesse para processos industriais.

Por meio do processamento de imagens multiespectrais do sensor orbital Aster, a bordo do satélite Terra, Ducart et al. (2006) procederam, na região da Patagônia, na Argentina, a identificação e mapeamento de minerais de caulinita, illita, alunita e sílica, cuja presença na

superfície constitui indicador de áreas com potencial para exploração de ouro e prata. Os autores, no entanto, chamam atenção para a influência da vegetação e das condições de exposição superficial das rochas para a devida aplicabilidade da avaliação. Crosta et al. (2016) também apontam o uso de imagens do sensor ASTER na detecção de minérios de fosfatos no Estado de Goiás, na fronteira com Minas Gerais.

Por outro lado, analisando as aplicações do sensoriamento remoto na área de mineração, Meneses e Ferreira Junior (2001) chamam atenção tanto para as possibilidades, como para as dificuldades envolvidas na utilização desta geotecnologia na identificação de minerais e rochas da superfície terrestre, em princípio factível, contudo dependente de uma série de fatores como, a condição de exposição superficial das rochas, a presença e tipologia da cobertura vegetal, assim como das características do solo, uma vez que os sensores de satélite utilizam radiação eletromagnética que sofre espalhamento ou mesmo absorção pelos demais alvos da superfície, impedindo a identificação direta do material geológico. Legg (2014) também destaca em quais condições o sensoriamento remoto apresenta maior potencial na identificação de minerais e rochas da superfície terrestre, em geral o potencial amplia-se em regiões com vegetação pouco densa, rochas expostas e relevo pouco acidentado.



4. Geoprocessamento aplicado à Gestão da Mineração

Para além dos grandes programas de levantamento dos recursos naturais e da prospecção mineral, as aplicações de geotecnologias podem ser amplamente utilizadas no dia a dia das atividades extração mineral pelos profissionais das áreas de mineração e meio ambiente.

As técnicas de geoprocessamento podem ser utilizadas desde a fase inicial de avaliação dos impactos ambientais, planejamento da exploração da jazida, bem como para o controle e gerenciamento operacional e ambiental da atividade, até a fase de fechamento da mina.

Para o desenvolvimento das diversas etapas relacionadas à exploração mineral, comumente é necessário o seu registro gráfico por meio de mapas, perfis, croquis, desenhos esquemáticos, blocos diagramas e fotografias, para tanto são úteis os conhecimentos em cartografia, bem como dos sistemas globais de navegação por satélite (GNSS), cujo os dados coletados em campo ou extraídos de outras fontes, podem então ser utilizados em programas de Sistemas de Informação Geográfica para integração com outros dados georreferenciados objetivando a realização de análises geográficas ou espaciais (localização, área, distância, vizinhança, rota, volumes, dentre outras), culminando com a produção de relatórios e mapas (CAVALCANTI NETO et al., 2010).

Em geral, as unidades de extração de minérios localizam-se em propriedades rurais e como tal precisam se adaptar às normas do Código Florestal (Lei 12.651/2012), sobretudo no que se refere às áreas de Reserva Legal, sendo que a licença ambiental pode incluir condicionantes como, por exemplo, a manutenção e formação de corredores florestais, além do gerenciamento dos recursos hídricos. Nestes casos, torna-se importante o mapeamento da propriedade,

incluindo a evolução das cavas, aquelas em exploração e outras em recuperação. Nestes casos, a implantação de um SIG com as informações espaciais da propriedade pode ser de grande utilidade.

Na elaboração e implementação do Plano de Controle Ambiental do empreendimento, as técnicas de geoprocessamento podem ser de grande utilidade, seja por intermédio das imagens de satélite de alta resolução que permitem a identificação dos usos, cavas, bacias de rejeito, estradas e acessos, unidades administrativas e áreas naturais (remanescentes florestais e outras tipologias, corpos d'água, etc.).

Podem ainda ser úteis na elaboração de Planos de Emergência, promovendo a identificação das comunidades vizinhas e de toda a bacia hidrográfica na área de influência direta e indireta do empreendimento. Os dados obtidos por meio das imagens de alta resolução podem ser integrados em um ambiente SIG, para a elaboração de mapas atualizados de toda a mina e sua área de influência.

Para atualizar, em escala detalhada, os usos e ocupação da propriedade rural em que se insere as unidades de extração e beneficiamento, algumas mineradoras têm adotado o uso de VANT (veículo aéreo não tripulado), popularmente conhecido como 'drone'. O equipamento teve seu uso recentemente regulamentado⁵ pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) trazendo mais segurança para as suas aplicações.

Por meio do VANT, uma vez equipado com câmeras fotográficas de alta definição e outros sensores específicos, é possível monitorar toda a extensão da mina, ampliando a frequência de atualizações topográficas de cavas e pontos de disposição, bem como das áreas de reserva natural. O equipamento pode captar fotografias em alta definição, úteis no monitoramento ambiental e evolução de obras em geral. Controlado por piloto automático (voo planejado) ou manualmente, o drone equipado com câmera fotográfica alta definição, produz fotos automaticamente. As imagens podem ser convertidas em ortomosaicos 2D e em modelos 3D com precisão horizontal/vertical submétrica.

As mesmas tecnologias, SIG e imagens de alta resolução, podem ainda ser aplicadas na elaboração e implementação do PRAD – Plano de Recuperação das Áreas Degradadas, instrumento obrigatório para o licenciamento da atividade. O PRAD deve identificar todo o

⁵ <http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>

limite da propriedade onde a mina se insere, bem como a sua área influência, geralmente a bacia hidrográfica, com os seus recursos hídricos, uso e cobertura vegetal remanescente, além das áreas a serem recuperadas.

As técnicas de geoprocessamento podem ainda ser utilizadas para a integração de dados geológicos, geofísicos, metalogenéticos e de sensoriamento remoto por satélite ou aerotransportado para a análise do potencial de exploração mineral de uma determinada região, a exemplo dos estudos realizados por Bendelak (1999) e Carrino (2010), buscando mapear áreas potenciais para a exploração de ouro, no Ceará e no Pará, respectivamente.

Geoprocessamento e Monitoramento da Atividade de Mineração

A mineração é uma atividade de grande importância econômica, contudo provoca uma grande quantidade de impactos ambientais, exigindo um controle tanto do ponto de vista social, quanto ambiental. Além disso, envolve aspectos estratégicos relacionados à economia, à ocupação do território, bem como aspectos legais e tributários.

Conforme apresentado no Módulo de Legislação Ambiental aplicada à Mineração, os recursos minerais são definidos como bens da União, pela Constituição Federal de 1988, o que atribui a este ente federativo direito de propriedade sobre aqueles. Esse fato deve-se principalmente à necessidade de que o domínio da União seja exercido para satisfazer os interesses da coletividade, o que significa dizer que o aproveitamento dos bens minerais precisa ser controlado, assegurada sua máxima utilização em atenção ao fim específico de utilidade pública. Politicamente, a inserção dos recursos minerais no rol de bens de propriedade da União traduz-se em exercício da soberania nacional, tendo em vista a sua importância estratégica para o desenvolvimento do País (HERNANDEZ, 2010).

Em vista disto, as instituições responsáveis pelo controle da atividade de mineração desenvolveram mecanismos de controle público das informações relacionadas ao tema e, como as informações e dados da pesquisa e exploração mineral são de natureza geográfica, nada mais adequado do uso das geotecnologias para a sua disponibilização e controle público. Assim, os órgãos de pesquisa e gestão têm adotado os modelos SIG Web ou Web GIS (Fig. 4.1).

Segundo FU (2016), Web GIS é a oferta do poder analítico de um SIG por meio das tecnologias Web, incluindo o protocolo de transferência de hipertexto (HTTP) e a linguagem de marcação de hipertexto (HTML), dentro outras ferramentas web. Nos anos 90, inicia-se a oferta de mapas na web, dando a largada para a integração com o SIG, que veio se consolidar nos anos 2000, por meio do desenvolvimento de plataformas específicas.

Figura 4.1: SIG Web ou Web GIS.



Fonte: adaptado de Fu, 2016.

Fu (2016) destaca as seguintes vantagens dos sistemas SIG Web:

1. **Alcance global** – os dados podem ser facilmente compartilhados e acessíveis dentro da organização e com o público geral em todo o mundo.
2. **Grande número de usuários** – por meio das plataformas web, os dados e análises ficam acessíveis para milhões de pessoas em qualquer lugar do planeta.
3. **Redução do custo por usuário** – o custo de desenvolvimento das plataformas SIG Web apresenta uma relação custo-benefício das mais positivas, considerando a amplitude de acessos possíveis.
4. **Capacidade de uso em múltiplas plataformas** – os aplicativos em web, especialmente aqueles baseados em JavaScript, podem rodar em computadores desktop e em aparelhos móveis (tabletes e smartphones) nos mais diversos sistemas operacionais (Windows, Mac OS, Linux, IOS, Android e outros).

5. **Facilidade de uso** – os aplicativos de SIG Web incorporam uma grande simplicidade na sua utilização fazendo com que os usuários possam acessar os sistemas e suas informações de uma maneira intuitiva, sem exigência de treinamento prévio.
6. **Facilidade na manutenção** – os usuários web podem sempre acessar as informações mais atualizadas dos dados e da versão do sistema, do mesmo modo os administradores dos sistemas não precisam fazer atualizações individualmente para cada cliente.

Os sistemas SIG Web constituem, principalmente para os órgãos de governo, um canal perfeito para disponibilizar serviços de informação e divulgação de dados públicos, encorajando a participação e o controle social por meio de uma metodologia poderosa de apoio à tomada de decisão. Considerando isto, no Brasil já se pode registrar várias iniciativas de sistemas SIG WEB no âmbito das instituições públicas e, também, pelas organizações e movimentos sociais, como será demonstrado nos próximos tópicos.

Mello (2015) analisa a adoção das geotecnologias no âmbito da CPRM – Serviço Geológico do Brasil destacando o papel da instituição que tem como missão gerar e difundir o conhecimento geológico e hidrológico básico para o desenvolvimento sustentável do país e, neste contexto, o uso dos sistemas de informação geográfica é fundamental para organizar e disponibilizar a memória geológica e hidrológica nacional.

Considerando a sua missão, a CPRM tem investido em geotecnologias e sistema SIG Web, tanto para as atividades de levantamento e mapeamento geológico, quanto para a organização de bases de dados e disponibilização pública do acervo. Na década de 1990, a organização já disponibilizava bases de dados hidrogeológicos para consultas por meio da rede mundial de computadores, tendo o sistema evoluído para o atual formato do SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas que permite a consulta e visualização de dados e informações geográficas (VASCONCELLOS et al., 2004). Os investimentos evoluíram para a apresentação do sistema **GeoSGB**, acessível para o público desde abril de 2017, disponibilizando via Web um abrangente e atualizado conjunto de dados e informações geológicas do país.

O GeoSGB é um SIG Web que permite o acesso a uma ampla base de dados geográficos sobre a geologia nacional, incluindo funções e ferramentas de geoprocessamento para consulta

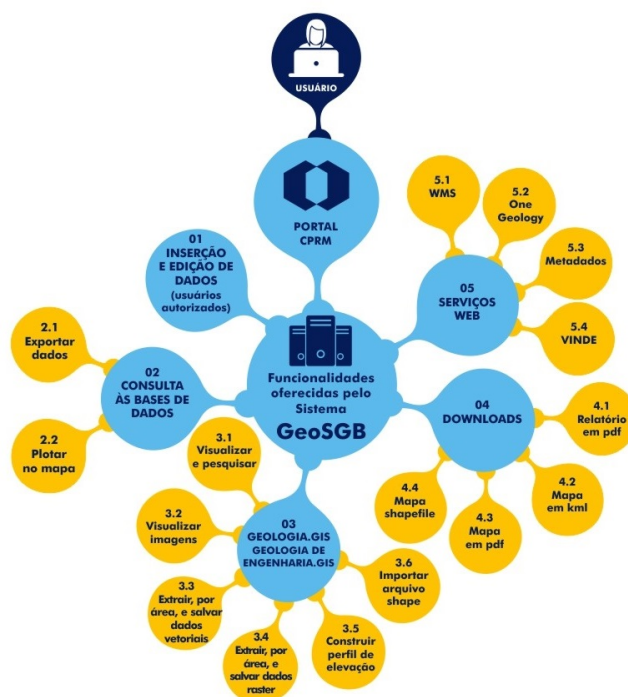
e análise espacial, visualização e sobreposição de dados para a produção de mapas por meio dos serviços WMS - *Web Map Service*. Os mapas produzidos podem ser salvos nos formatos mais comuns de imagens digitais. A plataforma possibilita ainda o download de dados georreferenciados nos formatos mais conhecidos de arquivos vetoriais - shapefile (nativo da ESRI®), txt formatado, ou mesmo no formato KML (nativo do Google®), tal facilidade permite o uso posterior dos dados em qualquer software de geoprocessamento (CPRM, 2017). Esta possibilidade revela-se de grande importância para os usuários de geotecnologias que podem assim desenvolver seus projetos e análises específicas nas mais diversas áreas de estudos, incluindo mineração e meio ambiente.

Por meio da plataforma GeoSGB, o Serviço Geológico do Brasil - CPRM participa do Projeto OneGeology⁶, patrocinado pela UNESCO, que objetiva disponibilizar mapas geológicos de todos os países do globo. O projeto, também baseado em plataforma SIG Web, teve início em 2007 e reúne, até o momento, 189 organizações e serviços geológicos de 121 países por meio de termos de cooperação que constitui uma espécie de consórcio entre os países participantes, definido por um sistema de governança que torna mais transparente a sua operação. Além dos Serviços Geológicos, é possível a participação de outras organizações que produzem e utilizam os dados geológicos.

A acessibilidade via web de dados geocientíficos organizados em estrutura de banco de dados único, harmonizado e padronizado permite o intercâmbio e uso das informações, facilita a pesquisa, visualização e compartilhamento de dados geológicos. Assim, a iniciativa OneGeology, espera auxiliar na prevenção e mitigação de desastres naturais, bem como no planejamento do uso, manejo e recuperação dos recursos naturais do planeta, além de ampliar a conscientização sobre a importância das geociências e sua relevância para o público em geral, convidando-os a serem parte das soluções, a partir do instante em que amplia o conhecimento sobre o planeta e os desafios de curto e longo prazo enfrentados pela humanidade (COUTINHO et al., 2016; HARRISON et al., 2014).

⁶<http://www.onegeology.org/>

Figura 4.2: GeoSGB – modelo conceitual.



Fonte: CPRM, 2017.

O DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral atento à sua missão de promover o planejamento e o fomento da exploração mineral e do aproveitamento dos recursos minerais, bem como assegurar, controlar e fiscalizar o exercício das atividades de mineração em todo o território nacional, desenvolveu o **Sistema de Informações Geográficas da Mineração – SIGMINE** (DNPM, 2017).

O SIGMINE tem como objetivo ser um sistema de referência na busca de informações atualizadas relativas às áreas dos processos minerários cadastrados no DNPM, associadas a outras informações geográficas de interesse ao setor produzidas por órgãos públicos, proporcionando ao usuário uma consulta aos dados e análises relacionais de caráter espacial (DNPM, 2017).

Do mesmo modo que o GeoSGB, o SIGMINE disponibiliza dados e informações georreferenciadas por meio de mapas digitais no formato vetorial e raster. Cada tema é disposto como uma camada que, ao se associar umas às outras, permite realizar diferentes tipos de consultas e análises, com a possibilidade de fazer pesquisas e a inserção de informação espacial de interesse do usuário.

Os dados e informações disponibilizadas no sistema são oficiais e atualizadas periodicamente, conforme a rotina de cada instituição, sendo que, os dados dos processos minerários são atualizados diariamente, apresentando em sua visualização a defasagem de um dia (DNPM, 2017).

Por meio dos sistemas SIG Web apresentados acima, conjugado com outros sistemas desenvolvidos por órgãos da área ambiental, é possível o acesso a dados e informações que permitem o monitoramento e o controle social das atividades de mineração. Observando esta possibilidade, órgãos como o Ministério Público da União, atento aos seus objetivos institucionais em defesa da ordem jurídica, do patrimônio nacional e dos interesses sociais, estimula o acesso das organizações sociais a estas ferramentas, inclusive realizando cursos e disponibilizando vídeos on line⁷ para aprender como utilizar o SIGMINE.

⁷<https://www.youtube.com/watch?v=P1zGkZwfZDg>



5. Geotecnologias e o Controle Social da Mineração

As ferramentas de geotecnologias também têm sido amplamente utilizadas pelas organizações da sociedade civil para análise e articulação de iniciativas em prol do controle social das atividades que geram conflitos ambientais, como é o caso da mineração.

Historicamente, os mapas que a maioria das pessoas têm acesso durante o período de educação formal refletem o legado da colonização e extração de recursos. Ao longo do tempo, os mapas foram fundamentais no processo de tornar visíveis os recursos naturais desejados, enquanto tornavam invisíveis as comunidades que sofriam os impactos da extração daqueles recursos (MOORE; GARZÓN, 2017).

Tendo este processo histórico em contexto, os movimentos sociais, com apoio da academia e de organizações do terceiro setor, iniciaram a elaboração de mapas de conflitos ambientais. Tais mapas constituem instrumentos pedagógicos elaborados a partir de metodologias participativas que resgatam o conhecimento das comunidades locais com o objetivo de evidenciar a degradação ambiental e o desrespeito aos seus direitos e modos de vida (FASE, 2017).

Conforme já demonstrado, os recentes desenvolvimentos em Geotecnologias, por meio das aplicações de mapeamento baseadas na Internet (SIG Web), do acesso facilitado aos equipamentos de posicionamento global por satélite (GNSS/GPS) e às imagens de sensoria-mento remoto (vide o Google Earth®), aliado à maior disponibilidade de dados geográficos por parte dos órgãos governamentais e mesmo do setor privado, facilitaram a realização de mapeamentos por pessoas, comunidades e organizações com poucos recursos e treinamento técnico (MOORE; GARZÓN, 2017; CONDE et al., 2015).

O Google Earth[®], plataforma desenvolvida e distribuída pela empresa Google, é um serviço gratuito de visualização de imagens e elaboração de mapas na web, com ampla facilidade de acesso, podendo ser acessado nos mais diversos equipamentos e sistemas operacionais. Utiliza-se das ferramentas de geotecnologias e permite agregar imagens obtidas de várias fontes, incluindo imagens de satélite, fotografias aéreas e sistemas de informação geográfica sobre um globo tridimensional.

O programa possibilita visualizar imagens e locais específicos, sendo possível marcá-los, medir distâncias, traçar rotas e até mesmo ter uma visão tridimensional de uma determinada localidade, dependendo do tipo de imagem disponível. Desde maio de 2006, utiliza imagens de satélite de alta resolução espacial o que permite a identificação de grande riqueza de detalhes nas localidades visualizadas.

Assim, ainda que subliminarmente, o avanço e popularização das tecnologias digitais vem contribuindo para uma crescente valorização do pensamento geográfico. Com o uso generalizado de mapas baseados na internet e unidades de GNSS/GPS em carros e telefones celulares, o mapeamento é mais do que nunca uma parte da experiência diária das pessoas, pois permite a observação dos problemas sociais e ambientais por meio de uma percepção geográfica (MOORE; GARZÓN, 2017).

Contudo, nem todos os processos de mapeamento, são participativos, e ainda é raro hoje em dia que não profissionais afetados por questões que estão sendo mapeadas sejam envolvidos nas decisões que orientam a criação, análise e distribuição dos mapas. No entanto, é fato que o mapeamento colaborativo, por meio da Cartografia Participativa ou Social, tem um grande potencial de mudar as relações de poder que são a causa das injustiças sociais e ambientais (MOORE; GARZÓN, 2017; CONDE et al., 2015).

O ponto de partida do presente debate é a percepção de uma quantidade crescente de cartografias voltadas para as lutas sociais e os conflitos ambientais, grande parte deles envolvendo a exploração de minérios. Experiências de representação cartográfica como instrumento de lutas, de valorização de experiências e ação social de grupos desfavorecidos na busca por resolução de conflitos. Cartografias que, voltadas para transformações sociais, se propõem a ser instrumentos de representação num sentido amplo do que é representação. Isto aparece como manifesto e enunciado por parte de produtores das cartografias, leitores e

usuários, todos sujeitos conscientes de múltiplas dimensões políticas inerentes ao objeto e à ação cartográfica (SANTOS, 2012; ASCERALD; COLI, 2008).

Tanto no Brasil, quanto nas mais diversas partes do mundo, os mapas vêm sendo utilizados como leituras sociais do território que são confrontadas às leituras oficiais e/ou de atores hegemônicos, assim, tornam-se instrumentos de fortalecimento de identidade social e de articulações políticas. Um caso bastante significativo é o **Mapa dos Conflitos Socioambientais da Amazônia Legal**: Degradação ambiental, desigualdades sociais e injustiças ambientais vivenciadas pelos Povos da Amazônia, no âmbito da campanha “Na Floresta Tem Direitos: Justiça Ambiental na Amazônia” uma iniciativa de movimentos sociais, entidades, ONGs e redes da Amazônia (SANTOS, 2012).

O mapa foi elaborado sob responsabilidade da FASE (Federação de Órgãos para Assistência Social e Educacional), por meio de uma metodologia participativa: foram coletadas informações fornecidas pelos próprios movimentos, em encontros e eventos, coleta executada em grande medida por meio da exposição de mapas impressos aos participantes e lideranças dos movimentos que neles indicavam os conflitos vivenciados e suas localizações, indicavam e qualificavam os conflitos ambientais, apontando as atividades e práticas que causam a degradação, sua localização e os atores envolvidos. Como resultado, o mapa, abrangendo toda a Amazônia Legal, foi utilizado como um instrumento de denúncia e pressão junto ao Ministério Público Federal e outras autoridades competentes, também foi importante para a articulação de organizações, entidades, movimentos sociais na luta por alternativas locais que assegurem o desenvolvimento com justiça ambiental e garantia dos direitos humanos (SANTOS, 2012).

Seguindo a mesma orientação metodológica, Silva e Sato (2012) coordenaram a elaboração do **Mapa de Conflitos Socioambientais do Mato Grosso** no âmbito de diversas consultas envolvendo em torno de 500 participantes, onde os dados e informações coletas foram organizadas em um Banco de Dados Geográficos usando o SIG ArcGis/ArcMap, desenvolvido pela empresa ESRI.

Evoluindo na metodologia, o GESTA – Grupo de Pesquisa em Temáticas Ambientais da UFMG desenvolveu um SIG Web, por meio do qual é possível acessar o Observatório dos Conflitos Ambientais o qual disponibiliza o Mapa dos Conflitos Ambientais em Minas Gerais,

além de uma série de outros documentos em formato digital. Por meio do SIG Web, o Mapa ganhou maior dinamicidade, o envio de informações *on line* tornou mais ágil e interativa a atualização dos conflitos registrados, favorecendo as trocas de experiências entre os cidadãos envolvidos nesses e em outros casos de injustiça ambiental (GESTA, 2017).

A FIOCRUZ (Fundação Oswaldo Cruz), no âmbito da sua missão de promover a saúde e o desenvolvimento social, bem como gerar e difundir conhecimento científico e tecnológico, desenvolve um trabalho de monitoramento dos conflitos ambientais por meio do Mapa de Conflitos envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil⁸.

O mapa faz uso da plataforma *GoogleEarth* para a localização geográfica das comunidades afetadas pelos mais diversos tipos de atividades econômicas e políticas públicas causadoras de impactos ambientais, tendo o objetivo principal de tornar públicas as vozes que lutam por justiça ambiental.

A metodologia de trabalho promove o levantamento e sistematização de dados e informações sobre os conflitos por meio de redes organizacionais, como a Rede Brasileira de Justiça Ambiental e seus grupos de trabalho, os quais contam com a participação de movimentos sociais e grupos de pesquisa das mais diversas universidades.

O mapa identifica – 1. O tipo de população atingida e o local do conflito, a exemplo de povos indígenas, operários/as, quilombolas, agricultores/as familiares, moradores/as em áreas de risco, ribeirinhos/as, pescadores/as; 2. O tipo de dano à saúde (contaminação por metais pesados, desnutrição, violência física, dentre outros) e de dano ambiental (desmatamento, queimada, contaminação do solo e das águas por agrotóxicos, por exemplo); 3. A síntese do conflito e o contexto do mesmo, incluindo a identificação dos principais responsáveis, bem como as entidades e populações envolvidas que exigem a reparação, os apoios recebidos ou não, destacando a participação de órgãos governamentais, do Ministério Público e de parceiros da sociedade civil, as soluções buscadas e/ou encontradas; 4. Os principais documentos e fontes de pesquisa usadas no levantamento e registro do caso. Após organizadas, as informações são conferidas por interlocutores em cada estado, geralmente contatos locais dos movimentos sociais e/ou das universidades (FIOCRUZ, 2017).

Desta forma, o Mapa de Conflitos envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde funciona como

⁸<http://www.conflitoambiental.icict.fiocruz.br/index.php>

uma plataforma para sistematizar, consultar e visualizar os conflitos por meio de mapas na web. Dentre os conflitos até então levantados e sistematizados, 7% foram oriundos das atividades de exploração mineral.

Uma outra rede que também utiliza web mapas para o controle social da atividade de mineração é o Observatorio por Conflictos Mineros, Proyectos y Empresas en America Latina, o qual reúne informações georreferenciadas sobre 160 conflitos e projetos de mineração, incluindo documentos, artigos e audiovisual.

O Observatório reúne mais de 40 organizações de 13 países da América Latina, do Brasil participam a Rede Brasileira de Justiça Ambiental, que também colabora com o trabalho citado da FIOCRUZ, a Rede Pantanal Brasil e o movimento Justiça nos Trilhos. A metodologia de identificação e sistematização dos conflitos assemelha-se à adotada pela FIOCRUZ, em que os dados são repassados e validados pelas organizações que integrantes.

No Brasil, o **Observatório por Conflictos Mineros** identifica em torno de 20 conflitos, que podem ser identificados geograficamente no mapa, trazendo informações básicas da origem do conflito, da atividade, comunidades afetadas e responsáveis pela atividade causadora do impacto. A plataforma, no entanto, não permite nenhum tipo de análise geográfica, além da localização, também não tem funções para salvar ou editar mapas, embora permita exportar os dados para visualização no Google Earth®.



6. Considerações Finais

Conforme demonstrado ao longo do texto, é indiscutível a importância das geotecnologias no processo de planejamento e gestão ambiental das mais diversas atividades e programas de políticas públicas, inclusive relacionadas à exploração mineral e seu monitoramento.

As tecnologias de geoprocessamento revelam-se de grande aplicabilidade na área de gestão e controle ambiental da Mineração e, também, na área de prospecção mineral, em que as perspectivas de avanço são muito grandes com desenvolvimento recente de novos sensores orbitais e aerotransportados.

No entanto, uma questão importante que dificulta o uso das geotecnologias refere-se à ausência, em nosso país, de uma base cartográfica atualizada e adaptada ao estágio atual de ocupação do território. Neste aspecto, Cruz e Menezes (2009) referem-se à situação cartográfica brasileira como crítica, sem investimentos adequados que resultam em um mapeamento deficiente e desatualizado de praticamente todo o país. É fundamental o desenvolvimento de esforços para que esta deficiência seja sanada, de modo que o planejamento e controle ambiental das atividades que fazem uso dos recursos naturais alcance maior eficiência.

Neste caso, destaco a iniciativa, já em execução, para a atualização da cartografia do Estado da Bahia, desenvolvida pela SEI – Superintendência de Estudos e Informação, órgão vinculado à Secretaria de Planejamento, em parceria com a Diretoria de Serviços Geográficos do Exército, que esperam apresentar aproximadamente 3 mil folhas topográficas atualizadas, nas escalas 1:25.000 para as regiões oeste, extremo sul e litoral do estado e de 1:50.000 para o semiárido. Atualmente, a cartografia usada pelo Estado da Bahia foi elaborada nas décadas

de 50 a 70 e conta com apenas 227 folhas topográficas, elaboradas na escala de 1:100.000, ou seja, com menor riqueza de informações.

A questão da atualização da base cartográfica, encontra dificuldade mesmo diante das novas ferramentas de captura de dados, isto devido ao custo, ainda elevado, de aquisição das imagens de alta resolução, adicionado à vastidão do território brasileiro. Dentro deste cenário, fica a expectativa de implementação de uma política territorial que considere a importância das ações de planejamento, devidamente articuladas com os movimentos da sociedade civil organizada.

Outrossim, é fato que mesmo diante da inadequação da base atual, o planejamento e controle ambiental devem ser desenvolvidos e implementados com base na melhor informação disponível, sem deixar de lado as estratégias de revisão no médio e longo prazo.

Uma questão importante, quanto ao uso das geotecnologias, refere-se ao custo dos sistemas de geoprocessamento, o que dificulta a sua ampla utilização, contudo existem alguns sistemas de distribuição livre, a exemplo do QGIS, sistema que vem ganhando um número de adeptos cada vez maior, especialmente no âmbito da sociedade civil. O QGIS apresenta um bom desempenho, podendo ser baixado livremente por meio da internet, acompanhado de tutoriais e comunidades de usuários que auxiliam na utilização e troca de experiência.

O INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais vem desenvolvendo o sistema SPRING⁹, um sistema de livre acesso com funções de processamento de imagens, análise geográfica e consulta a bancos de dados. O desenvolvimento do SPRING conta com a parceria de diversos órgãos públicos, a exemplo da EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, por meio do CNPTIA – Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura.

No âmbito do setor público e mesmo da sociedade civil, as plataformas de SIG WEB vêm alcançando cada vez mais espaço nas mais diversas áreas, tanto na área da exploração mineral, quanto na área de gestão e monitoramento dos conflitos ambientais, com os órgãos e movimentos sociais utilizando tais sistemas para disponibilizar os dados de forma aberta para o controle social e para a denúncia.

No caso das plataformas SIG WEB, além das já citadas, importante ressaltar a iniciativa do

⁹<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>

MMA - Ministério do Meio Ambiente por meio da plataforma I3Geo¹⁰, que permite análises, consultas e *download* de bases de dados. O Ministério também investiu na aquisição de imagens de satélite RapidEye para todo o país, com o objetivo de apoiar a implantação do Cadastro Ambiental Rural, tais imagens estão acessíveis para todos os órgãos públicos nas esferas federal, estadual e municipal.

Como foi demonstrado, as iniciativas de disponibilização dos dados e informações geográficas por meio dos órgãos públicos têm se ampliado, sendo isto de grande importância para o conhecimento do território, controle social e, para os usuários das geotecnologias, resulta em maior facilidade para o desenvolvimento de projetos em todas as áreas do conhecimento.

¹⁰<http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/geoprocessamento>



Referências Bibliográficas

ACSELRAD, H; COLI, L.R. Disputas territoriais e disputas cartográficas. In: ACSELRAD, H. **Cartografias sociais e território**. Rio de Janeiro: IPPUR / UFRJ, 2008.

ALMEIDA, J.R. (ed.). **Planejamento Ambiental - caminho para a participação popular e gestão ambiental para nosso futuro comum. Uma necessidade, um desafio**. Rio de Janeiro: Thex Ed. Biblioteca Estácio de Sa. 2002.

ALVES, L.C. **Sistemas de informação geográfica como instrumento para o planejamento de uso da terra em bacias hidrograficas**. Tese de Doutorado. Viçosa. UFV. 1993.

AMARAL, F.C.S. **Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais: Avaliação e Adequação**. Tese de Mestrado. Piracicaba. ESALQ/USP. 1993.

BARTEN, P.K.; SIVARAMAKRISHNA N, K. Hydrologic description of a forested watershed using GIS. **Belowground Ecology**. New Haven 2(1):6-9.1991.

BEEK, K.J. **Land Evaluation for Agricultural Development -some explorations of land use systems analysis with particular reference to Latin America**. International Inst. for Land Reclamation and Improvement. n° 23. Wageningen. 1978.

BEDELL, R. Remote Sensing in Mineral Exploration. In: BEDELL, R.; CRÓSTA, A.P.; GRUNSKY, E. (Eds.). **Remote Sensing and Spectral Geology-Reviews in Economic Geology**. Littleton, CO, USA: Society of Economic Geologists (SEG), v. 16. 2004.

- BENDELAK, M. R. **Integração de dados geológicos, Landsat e aero geofísico no estudo das mineralizações aurífera da região de Lavras da Mangabeira, Ceara**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geociências: UNICAMP. Campinas. 1999.
- BENNEMA, J; BEEK, K.J; CAMARGO, M.N. **Um Sistema de Classificação de Capacidade de Uso da Terra para Levantamento de Reconhecimento de Solos**. Rio de Janeiro. Ministério da Agricultura/ FAO, (Mimeo.).1964.
- BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. New York. Oxford University Press. 1986.
- CAMARA, G. Anatomia de um SIG. **Fator GIS**. Curitiba. n°4. 1994.
- CARRINO, T.A. **Geotecnologias aplicadas ao reconhecimento de áreas chaves à exploração aurífera na Província Mineral do Tapajós**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia: UNB. Brasília. 2010.
- CARRINO, T.A.; CRÓSTA, A. P.; TOLEDO, C. L. B.; SILVA, E A. M. Sensoriamento remoto multi e hiperespectral, geoquímica, magnetometria e petrografia aplicados à caracterização do prospecto aurífero epitermal Chapi Chiara, sul do Peru. In: 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil, 26–29 August 2013. p. 751-756.2013.
- CAVALCANTI NETO, M.T.O; ROCHA, A.M.R. **Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração**. Natal: Editora do IFRN. 2010.
- CAVALIERI, A. **Plano pesquisa apresentado para exame de qualificação como parte das exigências para doutoramento**. Campinas. FEAGRI, UNICAMP. 1996.
- CAVALIERI, A.; HAMADA, E.; ROCHA, J.V.; KUPPER, R.B.; LON- G0, R.M. Classificação das terras no sistema de capacidade de uso através do sistema de informação geográfica. IN: 25º CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 1995. Viçosa. SBCS/UFV.
- CENSIPAM – Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia. Sobre o Sensoriamento Remoto. Disponível em <http://www.sipam.gov.br/assuntos/sensoriamento-remoto-noticias/sobre-o-sensoriamento-remoto> . Acessado em 27 de junho de 2017a.
- CENSIPAM – Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia. Cartografia.

Disponível em <http://www.sipam.gov.br/assuntos/cartografia>. Acessado em 27 de junho de 2017b.

CONDE, M; TEMPER, L.; WALTER, M. Editorial. **Ecologia Política**. Edição Especial: Cartografia y Conflictos, vol. 48. Barcelona: España. 2015.

COUTINHO, M.G.N.; JACQUES, P.D.; LIMA, J.B.; GONÇALVES, J.H.; PIMENTEL, J. Cooperação internacional em geotecnologia na CPRM – Serviço Geológico do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48., 2016, Porto Alegre. Anais eletrônicos... Porto Alegre: SBG-Núcleo São Paulo, 2016.

CPRM. Sobre o GeoSGB. Disponível em: < <http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 14 de junho de 2017.

CRÓSTA, A. P.; ALMEIDA, T.I.R.; PARADELLA, W. R.; SILVA, S.M.P.; MENESES, P.R. Sensoriamento Remoto em Exploração Mineral no Brasil. In: MELFI, A. J.; MISI, A; CAMPOS, D.A.; CORDANI, U. G. (Org.). **Recursos Minerais no Brasil: Problemas e Desafios**. 1ed. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016, v. 1, p. 190-207.

CRUZ, C.B.M; MENEZES, P.M.L. A cartografia no ordenamento territorial do espaço geográfico brasileiro. In: ALMEIDA, F.G.; SOARES, L.A.A. (Org.). **Ordenamento Territorial – coletânea de textos com diferentes abordagens no contexto brasileiro**. 1ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2009.

DIEPEN, C.A.; KEULEN, H.; WOLF, J.; BERKHOUT, A.A. Land Evaluation: from intuition to quantification. New York. **Advances in Soil Science** 15:140-204.1991.

DOWNES, R.G. **A Institucionalização do Manejo do Solo e da Água no Brasil**. Brasília. MA/SNAP/SRN. Coordenadoria da Conservação do Solo e da Água. 1983.

DUCART, D. F.; CRÓSTA, A. P.; SOUZA FILHO, C.R.; CONIGLIO, J. Characterizing superficial alteration at Los Menucos epithermal district, Patagonia, Argentina, using shortwave infrared spectrometry and ASTER multispectral images. **Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists**. Littleton, Colorado, EUA, v. 101, n.5, p. 981-996, 2006.

EPIPHANIO, J.C.N. CBERS-3/4: características e potencialidades. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil. INPE. 2011.

FASE – Federação de Órgãos para Assistência Social e Educacional. **Mapa dos conflitos socioambientais da Amazônia Legal**. Disponível em : https://fase.org.br/wp-content/uploads/2009/08/2_mapa_conflito_amazonia-1-3.pdf. Acessado em : 06 de junho de 2017.

FITZ, P.R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1º Ed. São Paulo: Ed. Oficina de Textos.2008.

FIOCRUZ – FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. Mapa de Conflitos envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil. Disponível em: <http://www.conflitoambiental.icict.fiocruz.br/> . Acesso em : 26 de junho de 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **A Framework for Land Evaluation**. Roma: Soils Bulletin. Nº 32. 1976.

FORMAGGIO, A.R.; ALVES, D.S.; EPIPHANIO, J.C.N. Sistemas de informações geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxas de adequação de uso das terras. **Rev. Bras. Ci do Solo**. Campinas 16:249-256. 1992.

FU, P. **Getting to know Web GIS**. 2º Ed. Califórnia: ESRI Press. 2016.

GESTA – Grupo de Estudos em Temáticas Ambientais. Mapa dos Conflitos Ambientais de Minas Gerais. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <http://conflitosambientalmg.lcc.ufmg.br/observatorio-de-conflitos-ambientais/mapa-dos-conflitos-ambientais/> . Acesso em: 25 de junho de 2017.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R.R.V. **Introdução ao Geoprocessamento – princípios básicos e aplicação**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2007.

HARRISON, M.; KOMAC, M.; DUFFY, T.; ROBIDA, F.; ALLISON, M.L. OneGeology - a global geoscience platform. In: American Geophysical Union, Fall Meeting 2014. Disponível em: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2014AGUFMGC13F0715H> , acessado em 28 de junho de 2017.

HERNANDEZ, F.G. **Compensação financeira pela exploração de recursos minerais regra matriz de incidência**. Tese de Doutorado. USP: Faculdade de Direito. 2010.

JOLY, F. **A Cartografia**. Campinas: Papyrus Editora. 2013.

KOFLER, N.F. Técnicas de sensoriamento remoto orbital aplicadas ao mapeamento de vegetação e uso da terra. *Geografia*, Rio Claro, 17(2):1-26. 1992.

- KOFLER, N.F.; MORETTI, E. Diagnóstico do uso agrícola das terras do município de Rio Claro -SP. **Geografia**, Rio Claro 16(2):1-76. 1991.
- LEGG, C. **Basics of Geological Remote Sensing – an introduction**. Bristol:UK. 2014. Disponível em Amazon Books.
- LEPSCH, I.F.; BELINAZZI, R.; BERTOLINI, D.; ESPINDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.1991.
- LOMBARDI NETO, F.; ROCHA, J.V.; BACELLAR, A.A.A. Planejamento agroambiental da microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha - município de Itacemópolis, SP utilizando um sistema de informação geográfica. In: V SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROÇÃO. Resumos expandidos. Bauru. ABGE/UNESP.1995.
- LOPES ASSAD, M.L. Uso de Sistema de Informações Geográficas na Determinação da Aptidão Agrícola de Terras. **Rev. bras. Ci. do Solo**, Campinas 19:133-139. 1995.
- MELLO, J.M. **Adoção de sistema de informação geográfica**. Curitiba: Ed. Appris.2015
- MENESES, P.R.; FERREIRA JUNIOR, L.G. Comportamento Espectral de Minerais e Rochas. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S. (ORGS). **Sensoriamento Remoto – reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Editora da UNB/Embrapa. 2001.
- MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS – descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP. 2000.
- MONSERRAT FILHO, J. China lança GPS próprio e avança como potência espacial. 2013. Disponível em <http://www.aeb.gov.br/china-lanca-gps-proprio-e-avanca-como-potencia-espacial/>. Acesso em 03 maio 2017.
- MOORE, E.; GARZON, C. Social Cartography: The Art of Using Maps to Build Community Power. Disponível em : <http://www.reimaginerpe.org/17-2/garzon-moore> . Acesso em 25 de junho de 2017.
- MORETTI, E.; TEIXEIRA, A.L.A. Formação de modelos digitais de elevação através de técnicas manuais de coleta de dados. **Geografia**, Rio Claro 16(1):141-152.1991.
- OLIVEIRA, J.B; BERG, M. Van der. Aptidão agrícola das terras do Estado de São Paulo:

- quadricula de Araras. **Boletim Técnico** n° 102. Campinas. Instituto Agronômico. 1985.
- PINTO, S.A.F.; VALERIO FILHO, M.; GARCIA, G.J. Utilização de imagens TM/LANDSAT na análise comparativa entre dados de uso da terra e de aptidão agrícola. **Rev. Bras. Ci. do Solo** 13:101-110. 1989.
- PIZARRO, M.A.; EPIPHANIO, J.C.N.; Galvão, L. S. Identificação de Minerais em Solos Tropicais a partir de Dados Hiperespectrais do Sensor AVIRIS. In: Anais do IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Santos - SP, 11-18 de setembro de 1998. 1998.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3° ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ. 1995.
- ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento – tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Edição do autor. 2000.
- ROCHA, J.V.; LOMBARDI NETO, F.; BACELLAR, A.A.A. Cálculo do fator comprimento de rampa (L): uma metodologia para uso em sistema de informação geográfica. In: V SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO. Resumos expandidos. Bauru. ABGE/UNESP.1995.
- SANTOS, P.S.; MARQUES, A.C.; ARAUJO, M. Análise dos Remanescentes da Vegetação Litorânea na Região Sudeste da Bahia. In: GIS BRASIL 2002 - 2a Mostra do Talento Científico. CD-ROM. Curitiba.2002.
- SANTOS, R.E. Disputas cartográficas e lutas sociais: sobre representação espacial e jogos de poder. In: XII COLÓQUIO DE GEOCRÍTICA. Bogotá, Colômbia. 2012. Disponível em : <http://www.ub.edu/geocrit/coloquio2012/actas/16-R-Nascimento.pdf> . Acesso em : 26 de junho de 2017.
- SILVA, J.R.C.; DEGLORIA, S.D.; PHILIPSON, W.R.; McNEIL, R.J. Estudo da mudança de uso da terra através de um sistema de análise georreferenciada. **Rev. bras. Ci. Solo**, Campinas 17:451-457.1993.
- SILVA, S.M.P.; CRÓSTA, A. P.; ANGÉLICA, R. S.; BEURLEN, H. Dados EO-1 Hyperion no mapeamento mineralógico de pegmatitos na porção sul da Província Pegmatítica da Borborema (PPB), Nordeste do Brasil. In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Natal - RN, 25-30 de abril de 2009. 2009.

SILVA, M.J; SATO, M.T. Territórios em tensão: o mapeamento dos conflitos socioambientais do Estado de Mato Grosso – Brasil. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo. 15:1-28. 2012.

SILVA, C.F.A; VALADÃO, R.C. **Relevo antropogênico**: mineração de ferro e a interferência humana. 1º Ed. Curitiba: Appris. 2016.

SOUZA FILHO, C. R; CROSTA, A.P. Geotecnologias aplicadas à geologia. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo. vol. 33, nº 2: 1–4. 2003.

TEIXEIRA, A.L.A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. Rio Claro: Edição do autor. 1992,

VETTORAZZI, C.A.; COUTO, H.T.Z. Utilização de imagens Landsat- TM no mapeamento de florestas implantadas na região de Mogi-Guaçu. In: VI SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO. vol.1. Gramado.1986.

MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO



ISBN 978-855971034-2



9

788559

710342