

Capítulo 1

Introdução

1.1. O Que é Sensoriamento Remoto

Se fizermos um levantamento das definições de sensoriamento remoto em diferentes autores, verificaremos que existem pontos de divergência e de convergência entre eles. Charles Elachi em seu livro *Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing* (Elachi, 1987) define Sensoriamento Remoto como “a aquisição de informação sobre um objeto sem que se entre em contato físico com ele”.

Essa definição, entretanto, é muito ampla, pois podemos obter informações sobre objetos sem entrar em contato físico com eles, ouvindo, por exemplo, a uma partida de futebol. Para estreitar um pouco mais a sua definição de sensoriamento remoto, Elachi qualifica o modo pelo qual a informação sobre o objeto é adquirida. Para Elachi, sensoriamento remoto implica na obtenção de informação a partir da detecção e mensuração das mudanças que um determinado objeto impõe aos campos de força que o circundam, sejam estes campos eletromagnéticos, acústicos ou potenciais.

Sob o ponto de vista lógico, essa realmente seria a definição mais adequada de sensoriamento remoto, visto que os sensores que operam com ondas sonoras permitem a aquisição de informações sobre objetos, os mais diversos, sem que entremos em contato com eles, através da simples detecção e mensuração das alterações que provocam no campo acústico.

Os Sonares, por exemplo, são sensores que permitem a detecção de objetos submersos a partir da mensuração das alterações que estes provocam no campo acústico (ondas sonoras). O tempo gasto entre a transmissão de um pulso sonoro e a recepção do som refletido (eco) por um objeto é usado para determinar sua distância. Os sonares se baseiam no princípio de que as ondas sonoras se propagam a velocidades constantes em meios homogêneos, e que em diferentes meios, a velocidade do som é diferente. Sabendo-se que a velocidade do som na água (para uma dada temperatura) é de $1\,450\text{ ms}^{-1}$ pode-se determinar a profundidade em que se encontra o objeto medindo-se o eco, ou seja, a onda sonora por ele refletida. Os primeiros ecobatímetros, embora bastante simples em sua concepção, permitiram o mapeamento das fossas oceânicas bem como a determinação de sua profundidade.

Os sistemas mais sofisticados operam com pulsos de diferentes frequências e permitem o mapeamento detalhado dos fundos oceânicos. A análise da intensidade, frequência e outras características dos ecos permite determinar a localização, composição e tamanho de diferentes objetos. O nível de sofisticação dos sistemas atuais é tal que existem bibliotecas de sons que permitem distinguir diferentes tipos de sinais emitidos por submarinos de diferentes tipos, incluindo sinais de alerta em casos de acidentes. O uso das variações do campo acústico para aplicações em navegação e em medicina se tornou uma linha autônoma de conhecimento, com métodos e abordagens distintas das que englobam hoje a tecnologia de sensoriamento remoto de recursos terrestres.

Outro tipo de sensor que permite extrair informações sobre fenômenos que ocorrem à distância são os sismógrafos. Os sismógrafos permitem determinar a velocidade de propagação de ondas elásticas nas rochas e estruturas geológicas. Os estudos sismológicos permitem desenvolver teorias sobre a composição do interior da Terra.

Apesar de sensores de ondas acústicas e de ondas sísmicas permitirem a aquisição de informações sobre objetos e fenômenos a partir da mensuração das mudanças que impõem a esses campos, a definição de Sensoriamento Remoto a ser adotada no contexto da Tecnologia Espacial, se limita à utilização de sensores que medem alterações sofridas pelo campo eletromagnético. Assim sendo, podemos adotar o conceito de sensoriamento remoto como sendo a “aquisição de informações sobre objetos a partir da detecção e mensuração de mudanças que estes impõem ao campo eletromagnético”. E por que o termo sensoriamento remoto ficou circunscrito ao uso da radiação eletromagnética?

São diversas as razões pelas quais o termo sensoriamento remoto se tornou restrito ao uso de sensores de radiação eletromagnética. Em primeiro lugar, a radiação eletromagnética não necessita de um meio de propagação, como os demais campos. Assim sendo, os sensores puderam ser colocados cada vez mais distantes dos objetos a serem medidos, até que passaram a ser colocados em satélites, dando também uma conotação de distância física à palavra “remoto”.

Além desses aspectos, todo o embasamento teórico que envolve a interação desses diferentes campos de força com os objetos encontram-se distribuídos em disciplinas tão diversas, e tecnologias tão distintas, que o desenvolvimento de sensores, teorias e aplicações das informações derivadas das mudanças dos diferentes campos de força passaram a constituir ramos distintos do conhecimento científico.

Mas se adotarmos esse conceito, ainda estaremos dando ao estudo de sensoriamento remoto um escopo muito amplo, porque existem sensores que são utilizados para o levantamento de propriedades de estrelas, planetas, e propriedades do espaço cósmico. Desde 1980 praticamente todos os planetas do sistema solar já foram “visitados” por espaçonaves com sensores que permitiram o levantamento de suas propriedades.

Há também um grande número de satélites que possui sensores específicos para medir propriedades da atmosfera, tais como umidade, temperatura do topo das nuvens, ou ainda sua composição química. Esses satélites são conhecidos como satélites ambientais, e fazem medidas remotas também. As formas de análise desses dados, com uso de modelos numéricos de previsão de tempo, fizeram com que o termo sensoriamento remoto ficasse limitado aos sistemas voltados ao levantamento de propriedades da superfície terrestre. Sobre os métodos de extração de informações de sensores a bordo de satélites meteorológicos consultar Ceballos e Bottino, 2007; Ferreira, 2004; Carvalho *et al.*, 2004.

Não é esse o conceito de Sensoriamento Remoto adotado aqui. Os princípios e técnicas a serem estudados no âmbito deste livro se limitam à aquisição de informações sobre objetos da superfície terrestre, ou seja, serão enfatizados os sistemas e sensores voltados a aplicações para levantamento e monitoramento dos recursos terrestres, estudos oceanográficos, cartografia, e mapeamento temático.

Atualmente, alguns autores têm tentado restringir mais ainda a definição de Sensoriamento Remoto. Schowengerdt (1997), por exemplo, definiu Sensoriamento Remoto como a obtenção de medidas de propriedades de objetos da superfície terrestre a partir do uso de dados adquiridos de aviões e satélites. Com isso, ele ignora o uso de espectrômetros de campo que são elementos fundamentais às atividades de sensoriamento remoto, pois fornecem a base teórica para o uso de sistemas sensores aerotransportados ou orbitais. A concepção adotada nesse livro é de que o nível de coleta de dados (satélite, aeronave ou

campo) não é relevante na sua definição. O aspecto chave na definição é o uso de sensores de radiação eletromagnética para inferir propriedades de objetos da superfície terrestre.

Podemos, então, a partir de agora, definir Sensoriamento Remoto como sendo a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

1.2. Origem e Evolução do Sensoriamento Remoto

A história do Sensoriamento Remoto é um assunto bastante controverso. Alguns autores limitam o Sensoriamento Remoto ao desenvolvimento dos sensores fotográficos e ao seu uso para atividades de defesa e reconhecimento do terreno. Esta é, por exemplo, a visão da *American Society of Photogrammetry*. O Manual of Remote Sensing ASP (1975, 1983) dividia a história do Sensoriamento Remoto em dois períodos principais: o período de 1860 a 1960, no qual o Sensoriamento Remoto era baseado na utilização de fotografias aéreas e o período de 1960 até os nossos dias, caracterizado pela multiplicidade de sistemas sensores. Na realidade, a partir de 1990, houve algumas mudanças de paradigma na aquisição de dados de sensoriamento. Não houve apenas avanços na tecnologia de construção de sensores que ficaram mais sensíveis, houve avanços também na capacidade de transmissão, armazenamento e processamento graças aos avanços das telecomunicações e da informática. Com isso, muitas missões passaram a ter cargas úteis complexas, como é o caso das plataformas do programa Earth Observation System (EOS) da National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Com o avanço tecnológico, entretanto, paralelamente a essas missões que demandavam grandes investimentos em lançadores, satélites de grande peso e potência, houve uma tendência para a construção de satélites menores, com menor peso e potência, e portanto com cargas úteis menores, específicas para certas aplicações. Atualmente, definições de missões de sensoriamento remoto para o futuro envolvem necessariamente a escolha do paradigma a ser adotado: plataformas complexas, com propósitos múltiplos, ou plataformas simples, com carga útil específica.

O quadro atual ainda contempla o lançamento de grandes satélites para o futuro, como o RADARSAT-2, mas contempla também o lançamento de mini-satélites, organizados em constelações, com o objetivo de melhorar a frequência de aquisição de dados, como é o caso dos satélites da Constelação para Monitoramento de Desastres (*Disaster Monitoring Constellation — DMC*).

Independentemente das tendências atuais, o desenvolvimento inicial do sensoriamento remoto é cientificamente ligado ao desenvolvimento da fotografia e à pesquisa espacial. As fotografias aéreas foram o primeiro método de sensoriamento remoto a ser utilizado, tanto é assim que a fotogrametria e a fotointerpretação são termos muito anteriores ao termo sensoriamento remoto propriamente dito.

A primeira fotografia de que se tem notícia foi obtida por Daguerre e Niepce em 1839 e já em 1840 o seu uso estava sendo recomendado para levantamentos topográficos. O desenvolvimento nesta direção foi tão rápido, que já em 1858 o Corpo de Engenharia da França estava utilizando fotografias tomadas a partir de balões para o mapeamento topográfico. As primeiras fotografias aéreas foram tomadas em 1909 pelos irmãos Wright sobre o território italiano. As fotografias aéreas coloridas se tornaram disponíveis a partir de 1930, enquanto na mesma época já haviam se iniciado os estudos para a produção de filmes sensíveis à radiação infravermelha. O desenvolvimento da aviação simultaneamente ao aperfeiçoamento dos sistemas fotográficos (lentes, filtros, filmes e mecanismos de sincronização da operação da câmara com o deslocamento do avião) trouxe um grande impulso ao uso de fotografias aéreas, principalmente durante a primeira guerra mundial. Com o fim da primeira grande guerra parte desses avanços foram canalizados para o uso de sistemas fotográficos para a cartografia de pequena escala. Dentre os sistemas mais utilizados nesse período destaca-se a câmara trimetrogon (um sistema compreendido por três câmeras, uma vertical e duas oblíquas, para obtenção simultânea de imagens do terreno) e que foi amplamente utilizada para o mapeamento topográfico de pequena escala. Essa câmara foi utilizada pela força aérea Americana (US Army Air Force) em várias missões de aerolevanteamento não só internamente, como em diversos países nos anos que antecederam à segunda guerra mundial (1931). Existem relatos de que foram tomadas sobre o Canadá mais de 200 mil fotografias com esta câmara com o objetivo de gerar cartas na escala 1: 1.000.000. (<http://www.map-reading.com/aptypes.php/>; <http://www.mapnavigation.net/aerial-photographs-types>; <http://www.rb-29.net/HTML/91stSRSHistory/00.25.91stsrshist-cvr.htm>).

Com a invasão da Polônia em 1939, as forças armadas americanas consideraram como uma missão estratégica de defesa a obtenção de mapas de áreas inexploradas do continente americano, como a Amazônia, a Antártica e o Ártico. Como parte dessa estratégia foi criado o primeiro esquadrão fotográfico em 1940, que realizou várias missões, dentre os quais o primeiro levantamento aerofotogramétrico no Brasil, pela Força Aérea dos Estados Unidos (USAF), entre os anos de 1942 e 1943. Este levantamento foi utilizado pelo antigo Conselho Nacional de Geografia para a compilação de cartas na escala 1:1.000.000.

O esforço de guerra e a necessidade de métodos de vigilância remota dos territórios inimigos trouxeram grandes avanços tecnológicos, dentre os quais os estudos sobre o comportamento dos objetos na região do infravermelho com a finalidade de utilizar esse tipo de filme para a detecção de camuflagem, durante a segunda guerra mundial.

Com o fim da guerra, toda essa tecnologia ficou disponível para uso civil. Isto deu um grande impulso às aplicações de fotografias para o levantamento de recursos naturais, visto que permitiu a obtenção de dados sob condições controladas, e com o recobrimento de áreas relativamente amplas. Em 1956 foram iniciadas as primeiras aplicações sistemáticas de fotografias aéreas como fonte de informações para o mapeamento de formações vegetais nos Estados Unidos da América. No Brasil, datam de 1958 as primeiras fotografias aéreas na escala 1:25.000 obtidas com o propósito de levantar as características da Bacia Terciária do Vale do Rio Paraíba como parte de um extenso programa de aproveitamento de seus recursos hídricos que culminou com a retificação de seu médio curso entre Jacareí e Cachoeira Paulista, e com a construção do reservatório hidrelétrico de Paraibuna.

Embora a radiação de micro-ondas fosse conhecida desde o início do século e existissem sistemas de radar em operação desde a Segunda Grande Guerra, apenas na década de 1960 o uso de radares como sistemas de sensoriamento remoto se tornou operacional.

O termo sensoriamento remoto apareceu pela primeira vez na literatura científica em 1960 e significava simplesmente a aquisição de informações sem contato físico com os objetos. Desde então esse termo tem abrigado tecnologia e conhecimentos extremamente complexos derivados de diferentes campos que vão desde a física até a botânica e desde a engenharia eletrônica até a cartografia.

O campo de sensoriamento remoto representa a convergência de conhecimento derivado de duas grandes linhas de pesquisa. De um lado, como já foi dito, os métodos de sensoriamento remoto são tributários de todos os avanços no campo da aerofotogrametria e fotointerpretação, de outro lado, seu progresso se deve muito à pesquisa espacial e aos avanços tecnológicos por ela induzidos que resultaram em novos sensores baseados em fotodetectores e na possibilidade de obter informações sobre a superfície terrestre a partir não mais de aviões, mas sim de satélites. Esse foi um grande salto tecnológico porque induziu avanços em vários campos do conhecimento. Tornaram-se necessários sensores mais sensíveis, regiões espectrais ampliadas, novos métodos radiométricos, desenvolvimento de estações de recepção e transmissão de dados, automação de operações de manutenção a bordo, e muitos outros avanços tecnológicos que hoje são desfrutados (ou sofridos) pela sociedade. (Barr, 1960; Lowman, 1965; Fischer, 1975; Lillesand *et al.*, 2004).

Os sistemas de sensoriamento remoto disponíveis atualmente fornecem dados repetitivos e consistentes da superfície da Terra, os quais são de grande utilidade para diversas aplicações dentre as quais destacam-se:

- Urbanas (inferência demográfica, cadastro, planejamento urbano, suporte ao setor imobiliário).
- Agrícolas: condição das culturas, previsão de safras, erosão de solos.

- Geológicas: minerais, petróleo, gás natural.
- Ecológicas (regiões alagadas, solos, florestas, oceanos, águas continentais).
- Florestais (produção de madeira, controle de desflorestamento, estimativa de biomassa).
- Cartográficas (mapeamento topográfico, mapeamento temático, atualização de terra).
- Oceanográficas (produtividade primária, monitoramento de óleo, estudos costeiros, circulação oceânica etc.).
- Hidrológicas (mapeamento de áreas afetadas por inundações, avaliação de consumo de água por irrigação, modelagem hidrológica).
- Limnológicas (caracterização da vegetação aquática, identificação de tipos de água; avaliação do impacto do uso da terra em sistemas aquáticos).
- Militares, e muitas outras.

Cada uma dessas aplicações têm requisitos de frequência de revisita, resolução espacial, espectral e radiométrica, faixa imageada diferentes entre si. Esses requisitos precisam ser adaptados aos diferentes dados disponíveis. Algumas aplicações, como as voltadas ao monitoramento dos oceanos, requerem aquisição frequente, mas não têm requisitos rígidos de resolução espacial, porque o fenômeno a ser estudado compreende grandes massas de água, relativamente homogêneas.

As informações derivadas de sensores remotos podem também ser utilizadas para alimentar e/ou validar modelos numéricos tais como os modelos climáticos globais (Global Climatic Models – GCMs) desenvolvidos para simular os processos ambientais ou fazer previsões de mudanças derivadas de ação antrópica.

Recentemente o desenvolvimento de tecnologias de geoprocessamento aproximou os usuários de dados de sensoriamento remoto do processo de desenvolvimento de suas aplicações, uma vez que fornece ferramentas de análise espacial que agregam valor às informações derivadas dos sensores remotos.

Um exemplo de uso de dados de diferentes sensores em que há agregação de valor à informação básica deles derivada é dado pelo Projeto Queimada. Esse projeto começou inicialmente com a detecção de focos de calor a partir do uso do sensor AVHRR que se encontra a bordo dos satélites da série NOAA, um satélite meteorológico, de órbita polar, com amplo campo de visada, que permite adquirir imagens diárias da superfície terrestre.

Para que a cobertura da superfície terrestre seja diária, o campo de visada do satélite precisa ser amplo. Como o sensor opera na faixa de radiação emitida

pela superfície terrestre (mede o fluxo de radiação eletromagnética emitido pela superfície) a resolução espacial desse sensor é baixa, ou seja, o menor elemento que o sensor consegue distinguir na superfície tem uma área próxima a $1,0 \times 1,0$ km no centro da cena.

A energia emitida pela superfície pode ser convertida em Temperatura da superfície através de modelos físicos. Com isso, esse sensor permite registrar temperaturas que estejam acima de certo limiar (definido por especialistas em combustão) e relacionar a presença dessas regiões como áreas em que ocorrem focos de calor. Um foco de calor não é necessariamente um foco de fogo ou incêndio.

Para que um dado foco de calor seja *interpretado* como um possível foco de fogo, ou ocorrência de incêndio, a informação extraída do satélite precisa ser associada a outras informações em um *Sistema de Informações Geográficas*. As informações relevantes a serem associadas precisam ser definidas por meteorologistas (que vão informar se uma dada região apresenta as condições de precipitação, temperatura e umidade favoráveis à ocorrência de incêndio), por Engenheiros Florestais e Biólogos (que vão informar sobre a susceptibilidade da cobertura vegetal à combustão natural ou induzida por queimadas); por Geógrafos (que vão informar sobre a distribuição de usos da terra em diferentes áreas, sobre as práticas agrícolas, culturas dominantes etc.).

Quanto maior o número de “camadas” de informações agregadas à distribuição de focos de calor, mais precisa será a previsão sobre a ocorrência de focos de fogo, e mais eficiente torna-se a ação dos órgãos de fiscalização.

Muitas das outras informações agregadas à distribuição de focos de calor são também derivadas de sensores remotos. O uso da terra atual, por exemplo, pode ser obtido em imagens de satélites de recursos naturais.

Quando se associa uma ampla área de solo preparado para o plantio de verão (mapeado em uma imagem do satélite Landsat, por exemplo) a um foco de calor, pode-se deduzir que esse foco tem alta probabilidade de ser um foco de fogo, porque a queimada é uma prática tradicional de preparação do solo. Se a precipitação acumulada em um dado período for menor que certo valor, essa probabilidade aumenta. Com essas informações todas são criados Mapas de Risco de Incêndio, que podem ser utilizados em ações preventivas.

O Projeto, embora operacional, pode incorporar constantemente dados de novos satélites. Com isso, atualmente, os dados são obtidos tanto nas imagens termais dos satélites meteorológicos NOAA (quatro vezes ao dia) quanto nas imagens do satélite meteorológico GOES (oito vezes ao dia) e nas imagens dos satélites Terra e Aqua (duas vezes por dia). O acompanhamento da permanência de um foco de calor ao longo de vários momentos num dia, permite também avaliar o risco e orientar ações preventivas, uma vez que tais informações são disponibilizadas operacionalmente para os usuários num intervalo de 20

minutos após a passagem dos vários satélites. Esse exemplo permite apreciar a natureza multidisciplinar da tecnologia de sensoriamento remoto desde a obtenção do dado de satélite até sua transformação em informação para benefício da sociedade (<http://www.cptec.inpe.br/queimadas/>).

1.3. O Sensoriamento Remoto como Sistema de Aquisição de Informações

O sensoriamento remoto como sistema de aquisição de informações pode ser dividido em dois grandes subsistemas: 1) Subsistema de Aquisição de Dados de Sensoriamento Remoto; 2) Subsistema de Produção de Informações. (Figura 1).

O Subsistema de Aquisição de Dados de Sensoriamento Remoto é formado pelos seguintes componentes: Fonte de Radiação, Plataforma (Satélite, Aeronave), Sensor, Centro de Dados (Estação de Recepção e Processamento de Dados de Satélite e Aeronave). O Subsistema de Produção de Informações é composto por: Sistema de Aquisição de Informações de Solo para Calibragem dos Dados de Sensoriamento Remoto; Sistema de Processamento de Imagens, Sistema de Geoprocessamento.

A análise da Figura 1.1 permite verificar que cada um dos componentes do sistema envolve vários campos de conhecimento que abrangem a Física do Estado Sólido que permitiu o desenvolvimento de semicondutores, e o seu aperfeiçoamento contínuo que possibilitou em poucos anos a substituição de sistemas fotográficos pelos atuais sensores de alta resolução, com capacidade de identificar, a partir de satélites com órbitas a mais de 400 km de altura, objetos menores que 50 cm.

Os avanços da Física e da Química permitiram o desenvolvimento de novos materiais, que foram sendo incorporados pela Engenharia Espacial, pela Engenharia de Telecomunicações, pela Engenharia da Computação para o desenvolvimento de satélites, sensores, sistemas de transmissão e comando automáticos.

Paralelamente, para que houvesse um maior aproveitamento das imagens obtidas por sensores, foi necessário também se ampliar o conhecimento dos processos físicos, químicos e biológicos envolvidos na interação entre a energia e a matéria.

É óbvio que conhecimentos tão amplos encontram-se distribuídos em diferentes campos e que, portanto, a abordagem dos problemas vinculados à produção de informações através de tecnologia de sensoriamento remoto só tem êxito se for organizada através de equipes multidisciplinares.

Durante a fase inicial das missões espaciais de Sensoriamento Remoto da Terra não havia uma preocupação explícita com a produção de informação. Os desafios tecnológicos de se colocar um satélite em órbita da Terra eram de

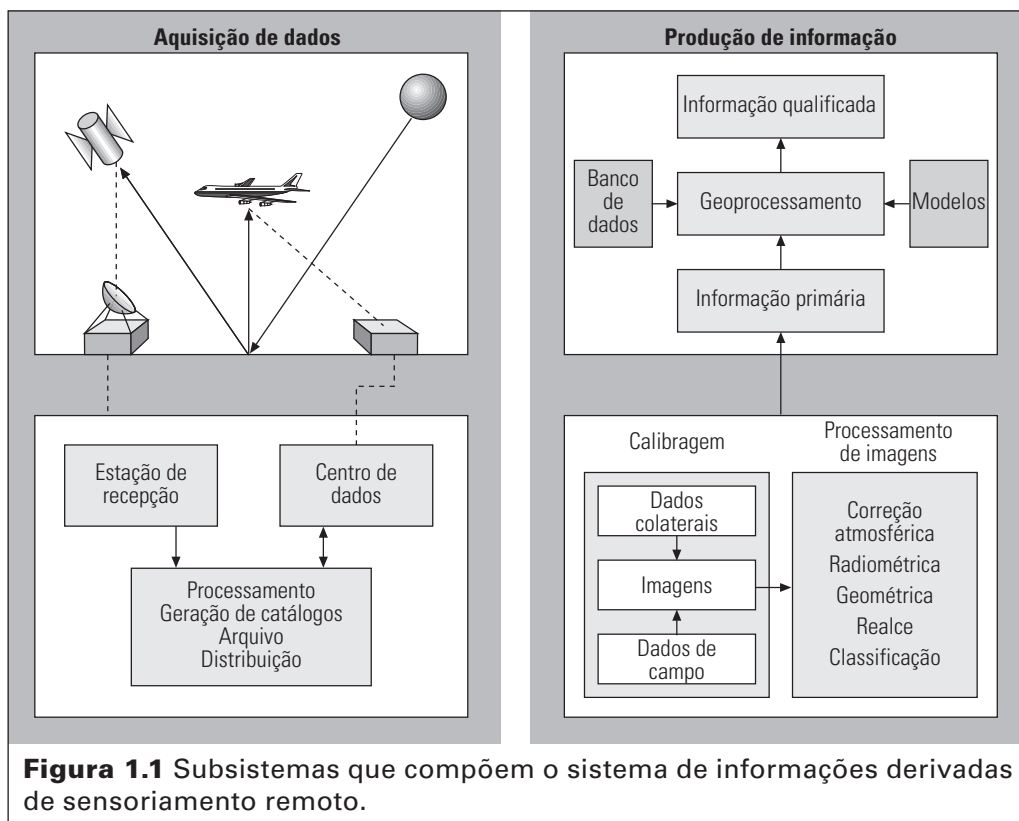


Figura 1.1 Subsistemas que compõem o sistema de informações derivadas de sensoriamento remoto.

tal envergadura, que o uso final dos dados era apenas um benefício adicional. Trinta anos depois das primeiras missões o grande desafio da tecnologia é transformar a Informação Primária, derivada do processamento das imagens, em Informação Qualificada, ou seja, uma informação passível de ser incorporada prontamente pelos usuários, sejam eles empresas privadas ou órgãos governamentais. Em muitas áreas de aplicação essa incorporação já é efetiva. Em outras áreas o desafio ainda está para ser vencido.

Nos próximos capítulos iremos estudar cada um desses componentes do Sistema de Informações Derivadas de Sensoriamento Remoto. A profundidade com a qual os diferentes componentes serão tratados não será a mesma visto que esse livro é voltado principalmente para geocientistas, biólogos, ecólogos, geógrafos, agrônomos, arquitetos entre outros, que estarão mais interessados em transformar um dado de sensoriamento remoto em informação qualificada útil para suas aplicações específicas.