

MUSEU DE TOPOGRAFIA PROF. LAUREANO IBRAHIM CHAFFE
DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA – UFRGS

A TERRA VISTA DO ALTO

Autor: Iran Carlos Stalliviere Corrêa

Janeiro/2010

As imagens obtidas do espaço e as fotografias aéreas oferecem um interesse pedagógico evidente. Elas ilustram frequentemente os livros escolares, os sonhos da cultura geral ou as emissões de televisão, permitindo a visão de uma área mais bem caracterizada do que uma simples carta de zonas de vegetação, das massas de nuvens ou dos relevos. Estes documentos são, nem por isso, uma exploração menos rica do que o estudo obtido a partir da análise da natureza da superfície ou o de seguir os fenômenos dinâmicos como a evolução de uma região costeira ou os efeitos de uma seca. É pois necessário a utilização de técnicas mais ou menos complexas de tratamento de imagens, geralmente em uma forma numérica. Uma sequência de operações de informática devem ser postas em prática a fim de permitir a exploração plena dos documentos, em uma geometria conforme as outras fontes de informações, tais como as cartas topográficas, a fim de poder gerar o entorno, no caso, nos sistemas de informação geográfica (GIS).

O sensoriamento remoto é a disciplina que tem por objetivo o estudo das informações sobre a superfície da Terra, vista de outros planetas ou satélites. Estas informações são obtidas a distância por um sensor, inicialmente do tipo fotográfico e atualmente quase que exclusivamente numérico. Estes sensores são instalados a bordo de plataformas aero-transportadas (avião, balões de sonda etc.), ou espaciais (satélites, naves etc.), que são denominados igualmente vetores.

A Fotografia Aérea

O desenvolvimento do Sensoriamento Remoto é devido a evolução de diversos inventos: a fotografia, a aeronáutica – praticamente a propulsão, e o tratamento de sinal.

A fotografia foi inventada por Nicéphore Niepce (1765-1833) e Louis Jacques Mande-Daguerre (1787-1851). O primeiro fotógrafo aeronauta foi Nadar (1820-1910) que obteve uma fotografia aérea, em 1858, sobre Bièvres. Em 1861, o coronel François Aimé Laussedat utiliza uma nova técnica e levanta o plano de fortificação de Paris. Durante a guerra da Secessão (1861-1865) os nortistas observam as posições dos sulistas da região de Richmond (Virgínia), com a ajuda de balões.

A invenção do primeiro avião propiciou um novo advir para a fotografia aérea. Em 1909 os irmãos Wright efetuam um voo na Itália e fotografam Centocelli.

As fotografias aéreas obtidas a partir de aviões foi logo considerado como um produto de grande interesse e foram utilizadas para o reconhecimento de áreas de operação, ao curso da primeira Guerra Mundial. As aplicações civis da fotografia aérea se desenvolveram no período entre as duas Guerras Mundiais.

A França efetuou, no início dos anos 20, do século passado, um levantamento aéreo com vista a uma primeira fase de reconhecimento. Em 1937, os Estados Unidos desenvolvem um vasto programa de cobertura aérea sistemática de seu território. Na mesma época, a Grã-Bretanha foi a primeira a desenvolver a utilização de fotografias aéreas no domínio da geologia, enquanto os Soviéticos utilizam estas nas aplicações florestais. Em 1939, a Wehrmacht dispunha de fotografias aéreas da maior parte das áreas estratégicas da Noruega à Gibraltar.

A Pesquisa da Propulsão

A tradição chinesa relata que o mandarim Van Gou, tentou se elevar no ar, em 3000 a.C., com a ajuda de dois cervos voadores movidos por 47 foguetes. Devido que um dos foguetes fora mal acesso, o mandarim morreu no incêndio de seu invento. O fogo grego, utilizado no século de Platão (479 a.C.), representa uma primeira manifestação de interesse da utilização deste na arte militar. Mas a primeira utilização militar de foguetes é atribuída aos chineses (sob o reinado de Vi-Tey), que os emprega contra os Tártaros no ano 85.

A partir do século XI, os foguetes voadores, importados do Extremo-Oriente, aparecem na guerra, na região de Antioquia. No século XIV, engenheiros militares alemães desenvolvem melhorias nos foguetes voadores. Estes foguetes participaram da libertação de Orleans, por Joana d'Arc em 1429; depois em 1450, Dunois utiliza os foguetes contra as carroças de madeira dos ingleses, na batalha de Foremigny e de Pont-Audemer. Os foguetes foram suplantados pela artilharia nos campos de batalha da época moderna (séculos XVI e XVII). Mais tarde, no início do século XIX, volta o interesse na utilização de foguetes, quando William Congreve fabrica foguetes com potência de alcance de 2 km. Do lado francês, o coronel Prévot estudou a possibilidade de uso dos foguetes pelo exército napoleônico. De 1806 a 1815, eles foram utilizados em várias batalhas, entre elas a de Leipzig e de Waterloo.

O Início da Conquista Espacial

Durante os anos 50 do século XX, vários ensaios foram realizados com a ajuda de foguetes, de mísseis balísticos, de satélites não tripulados (Sputnik em 1957), depois tripulados a partir de 1961 (voo de Gagarin). Entretanto as imagens

obtidas, durante as primeiras missões, foram de qualidade medíocre. A observação da terra era o único objetivo principal.

Depois da 2ª Guerra Mundial, as aplicações civis da fotointerpretação se generalizaram; na França é criado o Instituto Geográfico Nacional (IGN) o qual é responsável pela cartografia topográfica e pelas campanhas de fotografias aéreas sobre o território francês. A expansão da obtenção de imagens satelitárias no início dos anos 60, do século passado, foi em grande parte devido ao desenvolvimento dos satélites meteorológicos (Tiros 1, 1960; Nimbus, 1964). As primeiras imagens permitiram distinguir as massas de nuvens, mas foram inúteis para o estudo da superfície terrestre ou marinha. Posteriormente os dados obtidos começaram a ser mais e mais precisos e os meteorologistas começaram a estudar a água, a neve e o gelo. A conquista espacial e principalmente os programas de voos tripulados a partir de 1960 (missões americanas: Mercury, Gemini e Apollo, missões soviéticas: Vostok, Voskhod e Soyuz), contribuíram largamente na evolução de técnicas de sensoriamento remoto. Em 5 de maio de 1961, Alan B. Shepard efetua um voo de 15 minutos a bordo da Mercury, na qual obtém 15 fotografias de boa qualidade com a utilização de uma câmara fotográfica automática Mauer 70mm. Em 20 de fevereiro de 1962, John Glenn efetua três rotações em torno da Terra e toma 48 fotografias no desenvolver da missão Mercury-6; ele utiliza um filme negativo colorido e um aparelho de 35mm. Nesta missão algumas das fotografias foram obtidas sobre o deserto do Saara.

Durante a missão Gemini-4 (1965), uma parte das imagens obtidas foram dedicadas a geologia (Sudoeste dos Estados Unidos, Norte do México, África e Ásia). Ao final da missão Gemini, mais de 1.100 fotografias coloridas das regiões do globo, situadas entre as latitudes de 32°N e 32°S, foram obtidas.

Um dos objetivos da missão Apollo-9 (1969) foi à aquisição de fotografias multi-bandas, com a ajuda de um aparelho Hasselblad: fotografias pancromáticas, infravermelho preto e branco e infravermelho colorido foram obtidas.

Em 1972, o lançamento do primeiro satélite da série LANDSAT (denominado então ERTS, *Earth Resources Technology Satellite*) marca o grande início do sensoriamento numérico, graças a presença do radômetro de varredura multiespectral MSS (*Multi-Spectral Scanner*) que obteve mais de 270.000 cenas durante seu período de atuação (1972-1978).

Em 1973 e 1974, a missão Skylab permitiu obter 35.000 imagens com a ajuda de um sensor EREP (*Earth Resources Experiment Package*). O instrumento EREP consistia, entre outros sensores, em uma câmara fotográfica (6 bandas espectrais) e um scanner multiespectral (13 bandas espectrais).

Os Trinta Anos Gloriosos do Sensoriamento Remoto (1972-2002)

O dia 23 de julho de 1972 marca a virada maior na história do sensoriamento remoto. O primeiro sensor numérico é posto em órbita em torno da Terra à 907 km de altitude. Tratava-se do Multi Spectral Scanner a bordo do LANDSAT 1. Na realidade o LANDSAT 1 não existiu realmente pois o programa da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) foi intitulado Earth Resources Technology Satellite. A NASA seguiu a fase experimental do programa LANDSAT até 1983, período marcado pelo lançamento de três novos LANDSAT: LANDSAT 2 em 1975, LANDSAT 3 em 1978 e LANDSAT 4 em 1982. O sistema tornou-se operacional e foi confiado a NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

Ao mesmo tempo, na França, o programa SPOT (*Satellite pour l'observation de La Terre*), é lançado em parceria com a Bélgica e a Suécia. O lançamento do SPOT 1, em 22 de fevereiro de 1986, marca o início da era europeia nos satélites de observação de alta resolução espacial. O SPOT 1 é seguido de três outros satélites (SPOT 4 lançado em 1998) e posteriormente o SPOT 5. Os anos 90, do século passado, são ricos em lançamento de satélites radar. Os europeus da Agência Espacial Europeia (ERS, 1991 depois 1995), os Japoneses (JERS em 1992 com um satélite equipado de um sensor ótico) posteriormente os canadenses (RADARSAT, 1995) completa a gama dos satélites de observação no domínio das hiper frequências.

Entretanto os resultados mais interessantes no domínio da geociências foram obtidos pelos satélites americanos, particularmente em 1994, com a dupla missão SIR-C.

A série iniciada em 1972 prosseguiu com o lançamento do ENVISAT e do SPOT 5. Foi lançado também, o satélite geoestacionário europeu MSG (*Meteosat Second Generation*). O futuro é a diversificação e a especialização dos sistemas de observação no campo disciplinar onde as imagens apresentam um grande interesse.

FONTE

Deroin, J.P. & Chorowicz, J. 2002. La Terre vue d'em haut. *Geochronique*, 81-19-23.

Aquisição de dados satelitários

Escolha dos dados

Ao adquirir uma ou várias imagens, o engenheiro ou pesquisador, deverá verificar a adequação entre as características das imagens e seus objetivos científicos ou técnicos. Estas características são:

- A **resolução espacial**, quer dizer o tamanho elementar de cada pixel, geralmente compreendido entre 10 e 30m, nos principais sistemas operacionais;
- A **cobertura** ou largura da zona imageada, a qual oscila entre 60 e 100 km (as imagens são geralmente quadradas);
- A **repassagem do satélite**, quer dizer o tempo entre duas passagens sucessivas do satélite sobre a mesma zona imageada. Geralmente a periodicidade é de 20 a 26 dias. Esta informação é particularmente importante para poder seguir o fenômeno dinâmico. Por exemplo, o sistema SPOT é um dos raros a poder permitir, por programação, uma aquisição segundo uma determinada maré;
- A **capacidade de trabalho** durante todo o tempo, que está relacionada aos receptores de radar ativos, tais como ERS ou RADARSAT; estas imagens, às vezes mais difíceis de serem analisadas do que os dados ópticos oferecem a vantagem de poder seguir diretamente os eventos, tais como inundações ou as erupções vulcânicas, acompanhadas de condições atmosféricas que ocasionam a obstrução da visão sobre os dados ópticos.
- A **gama espectral**, que consiste, sobretudo, em certas aplicações especializadas no domínio da vegetação, da prospecção mineral ou do estudo da atmosfera; atualmente, as gamas espectrais as mais diversificadas e a mais precisas (resolução espectral), são obtidas em modo aerotransportado.
- Outras características dos registros satelitários podem ser utilizadas, como a possibilidade de restituir o relevo sobre imagens ópticas estereoscópicas ou por interferometria radar, ou bem o estudo das variações da fase de imagens radar (interferometria diferencial).

Aquisição dos dados

- De modo geral, a aquisição de dados é efetuada através de sociedades que têm exclusividade no mercado de distribuição de um setor geográfico específico;
- Alguns sites web (por exemplo Spot Image e USGS) permitem o conhecimento pela visualização de *quick look* e de tabelas de dados, da abrangência e da qualidade dos dados disponíveis;
- As imagens de arquivo (quer dizer já obtidas pelo satélite no momento da solicitação) são geralmente mais baratas que os dados mais recentes (datados de alguns anos); isto é verdadeiro para as antigas imagens Landsat MSS que constituem documento a pequena escala, às vezes muito úteis para a cartografia geológica ou para grandes conjuntos de vegetação, etc.;
- Para certas aplicações necessita-se, imperativamente, uma nova aquisição, isto é possível através do serviço de programação do sistema Spot;

- Os pesquisadores que desejam utilizar as imagens Spot podem se beneficiar de uma aquisição a tarifa reduzida, através do programa de apoio do CNES, denominado ISIS.

O tratamento dos dados

- Os registros numéricos devem ser tratados com a ajuda de um programa especializado. Existem numerosos “*soft*” no mercado e é necessário escolher o produto em função de sua necessidade. Alguns programas são especializados na gestão de imagens *raster* (caso das imagens de sensoriamento remoto), mas geram mais dificuldade os dados em vetor;
- A mesma razão deve ser levada em conta para a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (GIS), que representa uma ferramenta indispensável à realização de cartas servindo, muitas vezes, para ajudar na decisão;
- O funcionamento dos programas de tratamento de imagens pode ser classificado em três categorias:
 1. As operações de base (exposição da dinâmica, filtragens etc.) servem para preparar a imagem a fim que seja a mais legível possível;
 2. As operações especializadas (classificação, tratamento em intensidade-matiz-saturação, análise de componentes principais etc.), são mais ou menos desenvolvidos nos programas;
 3. As operações destinadas a modificar a geometria da imagem inicial (para fazer-la compatível com um fundo topográfico, por exemplo); se trata principalmente do processo de correções geométricas e de mosaico (fusão de dados adquiridos em diferentes momentos). É conveniente observar as possibilidades ou impossibilidades de realizar o desenvolvimento informático (agregar ou desenvolver módulos específicos ao computador), que é um trunfo importante.
- A maior parte dos programas pode ser adquirida a preço preferencial por pesquisadores universitários.

Preço dos dados

- Os preços, assim como as condições de aquisição, flutuam largamente, os utilizadores poderão consultar os sites web das sociedades de distribuição para saber as tarifas do dia;
- Tendo em conta as observações anteriores, as imagens com tarifas variadas podem ser adquiridas; isto não é mais do que a obtenção da imagem ou dos dados defasados (isto é que não tem a qualidade

necessária), logo os sites web permitem carregar tais imagens para fins ilustrativos; é o caso dos dados do Spot 4 posto a disposição gratuitamente (instrumento VGT);

- Mais praticamente, os dados satelitários têm um custo muito variável podendo ir de algumas dezenas de euros (imagens de satélites russos) a vários milhares de euros (imagens Spot obtidas através de uma programação);
- Uma sena de arquivo do Spot ou do Landsat TM custa entorno de 1.500 à 2.000 euros;
- Os dados IKONOS (1m ou 4m de resolução segundo o modo) oferecem a particularidade de serem vendidos por km² (entorno de 35\$). Atenção, é necessário adquirir uma superfície mínima estabelecida pela empresa fornecedora dos dados.

Algumas referências do sensoriamento remoto

O mais preciso dos satélites civis no domínio óptico:

O satélite *QUICK BIRD* lançado em outubro de 2001 permite a aquisição de imagens em modo pancromático com uma resolução (tamanho do pixel) de 61cm.



O mais preciso dos satélites civis no domínio infravermelho termal:

O satélite Landsat 7, lançado em 1999 permite obter imagens no infravermelho termal com uma resolução de 60m. O sensor *ASTER (Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer)* é um instrumento a bordo do satélite Terra, lançado em Dezembro de 1999. A combinação de ampla cobertura espectral e alta-resolução espacial permitem que o ASTER possa ser utilizado em várias aplicações tais como: estudos geológicos, dinâmicas de vegetação e ecossistemas e monitoramento de riscos. O sensor ASTER possui 14 bandas no total distribuídas da seguinte maneira:

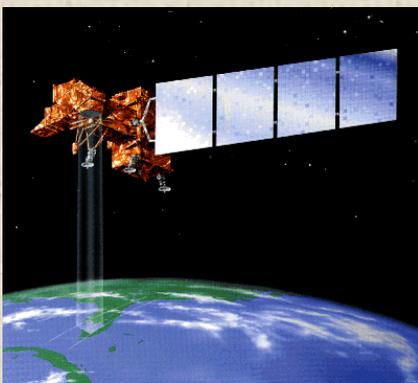
- 3 bandas no VNIR – Infravermelho próximo visível com resolução de 15m

- 6 bandas no SWIR - Infravermelho de ondas curtas com resolução de 30m
- 5 bandas no TIR - Infravermelho termal com resolução de 90m.

As 3 bandas do VNIR são:

- Banda 1 – Verde
- Banda 2 – Vermelho
- Banda 3 – Infravermelho próximo

O subsistema VNIR possui a capacidade de adquirir imagens em estereoscópica, sendo que cada cena do sensor cobre uma área de 60 x 60 km .



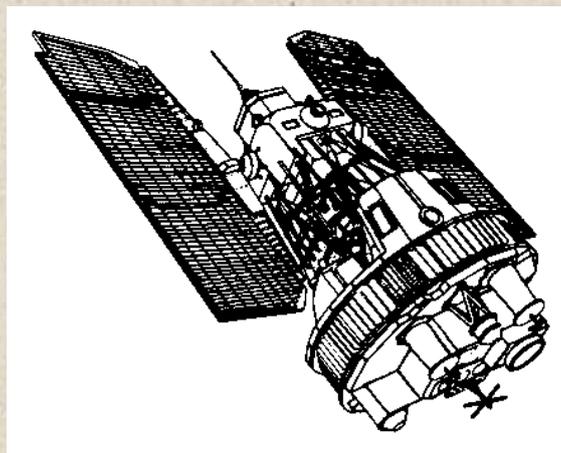
Landsat 7



Terra com sensor ASTER

Os primeiros dados numéricos:

O satélite ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*) lançado em 23 de julho de 1972 forneceu os primeiros dados digitais, em uma época em que os centros de tratamento numérico eram escassos.



Satélite Landsat/ERTS

O mais completo:

O sensor MODIS, embarcado no EOS, permite obter 36 bandas espectrais do visível ao infravermelho termal. Ele permite estudar a camada de

ozônio, a temperatura das nuvens, a cor das águas oceânicas, o fitoplâncton, o vapor de água e, também, as características das superfícies naturais. Apresenta resolução espacial entre 250 e 1000 m, ele só pode ser utilizado para a cartografia de pequena escala.



O sensor MODIS no Satélite EOS

O primeiro GPS:

O primeiro satélite do programa americano NAVSTAR-GPS (*NAVigation System with Time And Ranging, Global Positioning System*) foi lançado em 6 de outubro de 1978. O sistema GPS se constitui de uma rede de satélites a qual foi aberta a comunidade internacional por decisão do Presidente Clinton, em abril de 1995. Os europeus têm um programa do tipo GPS, denominado Galileu.



NAVSTAR-GPS

O mais antigo satélite em atividade:

SPOT-1 lançado em 22 de fevereiro de 1986. Em 22 de fevereiro de 2010, o satélite efetuou em torno de 123.750 órbitas em torno da Terra. Trata-se

de um veterano entre os principais sistemas de observação operacional. Seu funcionamento havia sido previsto para 3 anos...



SPOT-1

Progresso na Resolução Espacial e Espectral

A resolução espacial representa a possibilidade de distinção mínima oferecida por um sensor satelitário. No imageamento óptico, esta resolução é assimilada pelo tamanho do pixel. De 1972 a 2001, esta resolução passou de 6.400m² a partir do ETS, para 0,37m² com o Quickbird.

A resolução espectral representa a largura da sensibilidade espectral de uma banda do sensor; quanto mais estreita for esta banda mais precisa é a detecção. Entretanto uma alta resolução é difícil de ser obtida a partir de um satélite, devido a energia muito fraca. Por um bom tempo a alta resolução espectral foi obtida a partir de experiências aerotransportadas (AVIRIS, GERIS).

O Progresso nos últimos anos

Landsat 1, o primeiro satélite civil de observação da terra, lançado em 1972, apresentava a bordo um sensor MSS (Multi Spectral Scanner) que fornecia imagens no visível e próximo do infra-vermelho com uma resolução em solo de 80m, cobrindo uma superfície de 180x180km. Estas imagens propiciavam informações úteis para a cartografia, geologia, geomorfologia e geologia estrutural de vastas regiões.

Em 1984 o primeiro sensor TM (Thematic Mapper) embarcou a bordo da Landsat 4, com uma melhoria na resolução no solo, chegando a um pixel de 30m. Esta resolução permitiu a obtenção mais ou menos satisfatória de objetos pertencentes a superfície do terreno. As bandas próximas do infravermelho médio permitem uma melhor discriminação dos tipos de vegetais e do solo nu.

Com o aparecimento da estereoscopia ligada a uma melhoria da resolução, uma nova etapa se inicia em fevereiro de 1986 com o lançamento do primeiro satélite SPOT. A resolução de 10m no modo pancromático e de 20m no modo multiespectral do visível e do infravermelho próximo permitem trabalhos na escala de 1:25.000, da mesma maneira que a estereoscopia permite a produção de MNT (Modèle Numérique de Terrain) de muita boa qualidade com base em trabalhos

para estudos da morfologia quantitativa. Com a melhoria das técnicas o satélite indiano IRS-1C chega a atingir uma resolução no solo de 5m pancromáticos.

O aparecimento, do último decênio do século passado, os sensores de alta resolução espacial métricos, marca uma evolução importante. O mais comum, IKONOS, oferece uma resolução de 1m em pancromático e 4m em multiespectral e uma possibilidade de aquisição estereoscópica; é necessário falar também do EROS A (1,8m de resolução) e do QUICKBIRD com 0,60m de resolução. Estes sensores permitem trabalhar em escalas de 1:5.000 e mesmo 1:2.000 e de identificar e cartografar os objetos da superfície terrestre em particular os de origem antrópica.

FONTE:

Chevrel,S.; Oliveiros,C.; Thierry,P. 2002. Progrés continus dans La résolution spatiale et espectral. GéOchrOnique. 81 :28-30.

O Sensoriamento Remoto no Infravermelho

O domínio do infravermelho é o mais extenso do espectro eletromagnético . Ele inicia no final das ondas do visível ($0,74\mu\text{m}$) indo até 1mm antes das ondas de radar, chamadas também de hiper frequências, micro-ondas ou ondas centimilimétricas. A grande extensão do domínio das ondas infravermelhas indica que existe uma grande diversidade de componentes espectrais das superfícies e dos objetos naturais.

Esquemáticamente pode-se distinguir o domínio do infravermelho próximo ($0,75$ à $1,1\mu\text{m}$) que é empregado nas fotografias aéreas infravermelhas (até $0,9\text{mm}$), mas também sobre a maior parte dos satélites de observação da Terra em associação com outros canais espectrais do visível. O infravermelho próximo é característico dos vegetais que apresentam sempre uma forte refletância. Suas propriedades de refletância dependem principalmente das características arquiteturais das plantas: ramificação, estrutura das folhas (histologia), etc. As folhas têm sistematicamente uma resposta no infravermelho próximo, mais elevada que as coníferas. Lembremo-nos que a resposta dos vegetais, entorno de $0,5-0,7\mu\text{m}$ (visível), depende principalmente do conteúdo de pigmentos das folhas.

O domínio do infravermelho médio, MIR, compreende os comprimentos de onda situados entre $1,5$ e $1,8\mu\text{m}$. Esta banda espectral situada entre duas bandas de absorção da água de $1,4\mu\text{m}$ e $1,9\mu\text{m}$ é geralmente posta em relação com o conteúdo em água da biomassa ou dos solos. O domínio espectral situado entre 2 e $2,6\mu\text{m}$, denominado SWIR (Short Wave Infrared) é privilegiado para o estudo da refletância de certos minerais como as argilas. É devido a isto que este domínio é muito empregado na prospecção geológica e mineira. Entretanto a quantidade de energia fornecida pelo sol neste domínio está em forte decréscimo em relação ao visível e por consequência não é possível, geralmente, obter uma alta resolução espectral em imagens de satélite.

O infravermelho situado entre $2,6\mu\text{m}$ e $1\mu\text{m}$ são na maior parte absorvidos nas diferentes camadas da atmosfera. Não menos de três interessantes janelas

de observação existem entorne de $5\mu\text{m}$ e sobretudo entre $8\text{-}12\mu\text{m}$. Estas bandas permitem registrar a energia emitida pela terra; trata-se do infravermelho termal, onde podemos ligar diretamente a resposta espectral e a temperatura das superfícies, sob a possibilidade de poder calibrar as observações.