



Sensoriamento Remoto I

GA111

Prof. Dr.Ing. Jorge A.S. Centeno

Departamento de Geomática

UFPR

2020



Sistemas Sensores

Do ponto de vista técnico o capítulo anterior trata da questão de qual radiação eletromagnética se pode medir para interpretar a situação dos objetos visíveis na superfície da terra ou para separar (classificar) regiões com características espectrais similares que podem ser associadas a um tipo de. Neste capítulo são abordados aspectos relacionados aos equipamentos usados para a realização das medidas.

Inicialmente deve-se entender que a medição remota é efetuada geralmente usando um binômio sensor-plataforma. Ou seja, um equipamento é usado para medir a radiação eletromagnética (sensor) e outro é usado para transportar este dispositivo e sobrevoar a região de interesse.

Uma pessoa comum, nestes tempos, está muito familiarizada com sensores para obter imagens, algo que não era tão frequente antigamente. Hoje todos os aparelhos celulares são dotados de câmeras digitais que registram a radiação eletromagnética na região do visível (Red, Green, Blue) e formam imagens coloridas. Basicamente, uma câmera digital é um sensor de radiação eletromagnética. Porém, existem outros sensores que podem registrar também outras faixas espectrais.

Um sensor pode ser classificado de diferentes maneiras. Por exemplo, ele pode ser imagerador ou não-imagerador. Ou seja, pode-se medir um único valor para toda a região ou fazer uma varredura bidimensional da área visualizada para

formar um campo, uma imagem. Tomando como exemplo a temperatura, é possível medir a temperatura média de uma região, com um termómetro, ou capturar uma imagem térmica usando uma câmera.

Com base na separação das faixas espectrais apresentada no capítulo anterior, um sensor pode também ser classificado como “de radiação refletida” Ou “de radiação emitida” pelos corpos. Ou seja, pode ser desenhado para medir a radiação solar refletida pela superfície da terra ou ara medir a radiação emitida pela terra,

De acordo ao princípio de medição, o sensor também pode ser “ativo” ou “passivo”.

Plataformas

Da mesma forma, na prática não existe uma plataforma única em sensoriamento remoto e diferentes opções são empregados nos levantamentos.

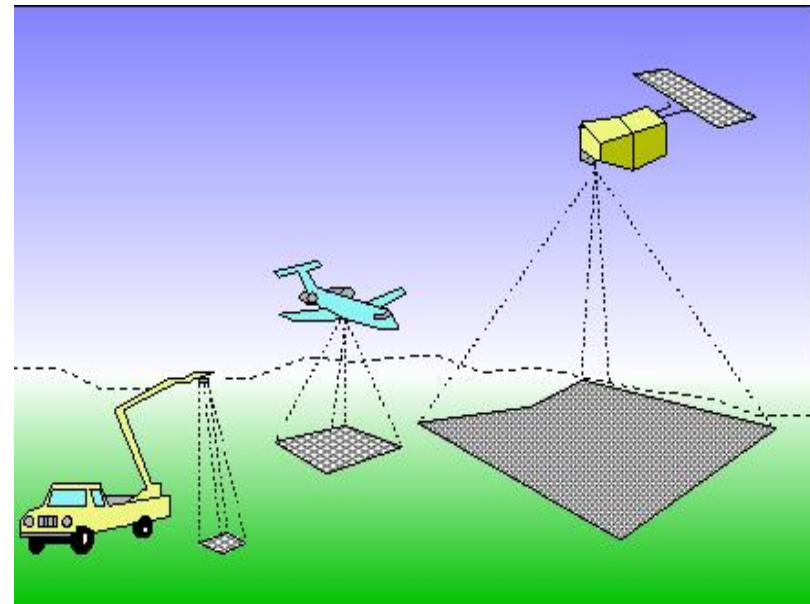
Por exemplo, a plataforma pode ser orbital, carregando um sensor que permite registrar imagens da terra desde uma grande distância. Uma das vantagens do uso de plataformas espaciais é que a área coberta por uma imagem é grande. Por outro lado, o grau de detalhe em termos espaciais é menor, pois vista de longe a superfície da terra tende a se tornar uniforme, perdendo os detalhes. Por exemplo, em algumas imagens, a área urbana aparece como uma mancha, as ruas não são mais visíveis.

O mesmo sensor, por outro lado, pode ser transportado em uma plataforma aérea. Neste caso, o detalhe espacial é maior, pois a distância, a altura de voo, é menor. A desvantagem é que o quadro varrido por uma imagem é muito menor. Em algumas situações, o uso de aviões pode ser vantajoso, mas em outros é inviável. Recentemente, o uso de drones se popularizou e muitos engenheiros estão comprando drones para sobrevoar suas áreas de interesse e obter dados espectrais, imagens. Como a área coberta por uma imagem é muito pequena, fazer o levantamento de uma região extensa, como uma bacia hidrográfica, por exemplo, é impraticável em no mesmo dia e demandaria muito trabalho.

O uso de drones permite sobrevoar a área a curta distância da mesma forma que seria feito carregando o sensor em um guindaste. Estes levantamentos a curta distância oferecem a vantagem de alto detalhe espacial e são comuns em estudos localizados e experimentais.

Na prática não existe uma única plataforma viável, mas a escolha depende de fatores como o grau de detalhamento desejado e a capacidade do avião/drone/satélite carregar o peso do sensor. Um avião, por exemplo,

pode carregar muito mais peso que um drone e ainda suprir com energia os sistemas de navegação e sensores.





Plataforma espaciais

Quando são usadas plataformas espaciais para fazer sensoriamento remoto existem duas possibilidades quanto à órbita, cada uma com vantagens e desvantagens.

O sensor pode efetuar sua trajetória em um plano paralelo à linha do equador. Esta órbita é conhecida como órbita equatorial.



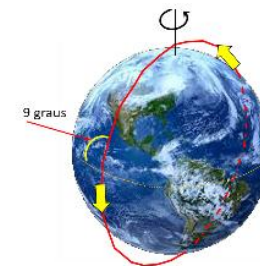
Se o sensor gira com a mesma velocidade angular que o planeta, então ele ficará acima do mesmo ponto todo o tempo. Esta órbita específica é chamada de "Geoestacionária", pois o sensor aparenta estar "parado", "estacionado" acima do mesmo ponto da Terra.

A vantagem é que uma órbita geoestacionária permite visualizar a mesma área todo o tempo e com isso diminui o intervalo entre imagens consecutivas. Por outro lado, somente uma parte da Terra é vista com detalhe. As regiões localizadas nos extremos da parte visível do planeta aparecem distorcidas e outras regiões não são visíveis.

Uma alternativa é programar uma órbita perpendicular ao equador, na direção norte-sul. Esta órbita passaria acima dos polos, por isso é chamada de "órbita polar". Descrevendo uma órbita polar o satélite passa acima de diferentes pontos ao longo de sua trajetória. Considerando que o planeta gira durante o dia, a cada nova órbita o satélite pode passar acima de outros pontos, o que permitiria varrer toda a Terra sem necessidade de alterar a órbita, pois se aproveita o movimento natural do planeta.



Agora, considere a possibilidade de inclinar levemente a órbita do satélite (em torno de 9 graus) para descrever uma órbita semi-polar, de forma que o satélite acompanhe, na direção equatorial, a rotação da Terra. Com isto, o satélite passaria acima do ponto sempre à mesma hora. Ou seja, à mesma hora local. Com isto, as condições de iluminação de imagens obtidas em dias diferentes seriam muito parecidas, o que facilitaria estudos temporais. Esta modificação também é conhecida como "Órbita heliosíncrona", ou sincronizada com o Sol.





O problema é que, se a Terra gira constantemente, a cada descida do satélite para obter imagens (considerando que no trecho ascendente não obterá imagens porque não haverá incidência solar) o satélite sobrevoa outra região e não necessariamente a região adjacente. Ou seja, duas órbitas consecutivas não necessariamente cobrem faixas adjacentes.

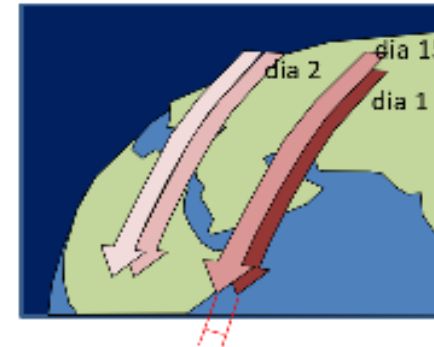
Em função da velocidade de rotação da Terra, duas órbitas consecutivas são distantes. Isso pode ser contornado aumentando a faixa recoberta pelo satélite a cada passada, mais com isto a resolução espacial das imagens cairia.



Porém, como o satélite sobrevoa cada vez uma região diferente, ao cabo de alguns dias (dependendo das características da órbita), ele passa acima da região vizinha e depois acima da mesma órbita, completando um ciclo de varredura da Terra. Para isto, são necessários dias.

No caso da série Landsat, por exemplo, um ciclo de varreduras é completado a cada 16 dias. Isto significa que

duas imagens do mesmo ponto podem ser obtidas com intervalos de 16 dias, não menores.



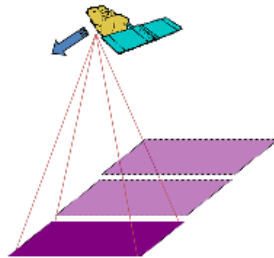
Bem, e se quisermos diminuir o intervalo entre imagens, o que podemos fazer?



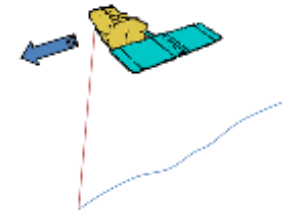
Tipos de imageadores

Existem diferentes alternativas para o registro de uma imagem usando um sensor espacial. Esta característica é importante e deve ser analisada na hora da escolha da fonte de dados.

Um imageador de quadro, por exemplo, capturaria uma região retangular (um quadro) como é feito usando uma câmara convencional. O resultado é uma matriz de medições (linha/coluna). Este tipo de imageador não é muito usado em satélites, mas sim em drones e aviões.



Um problema, neste caso, é que são necessários muitos detectores para compor a matriz sensora e existe grande risco de que os detectores se descalibrem com o tempo. Isto tem como consequência imagens com tonalidades diferentes, mesmo em regiões uniformes. É como medir um fenômeno com medidores trabalhando em diferentes escalas.



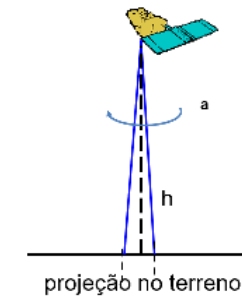
Este problema se minimiza usando apenas um detector, porém, neste caso, apenas um ponto seria medido a cada vez. Aproveitando o movimento da plataforma seria possível medir uma linha, muito estreita, um perfil.

Se apenas um detector é utilizado, então cobre-se uma estreita faixa da Terra. A largura da faixa que pode ser atribuída ao detector depende do Instantaneous Field of View (IFOV) ou campo de visão instantâneo de um detector.

A área medida por um detector cresce na medida em que o detector se afasta da superfície medida. No caso dos sensores orbitais, a projeção do detector, ou sua área coberta, pode ser calculada como:

$$L = 2 * h \tan(0,5 * a)$$

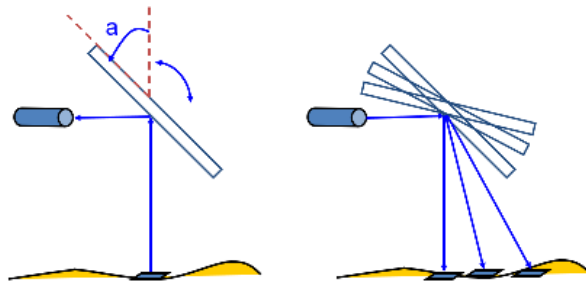
Onde a é o ângulo IFOV e h a altura da órbita.



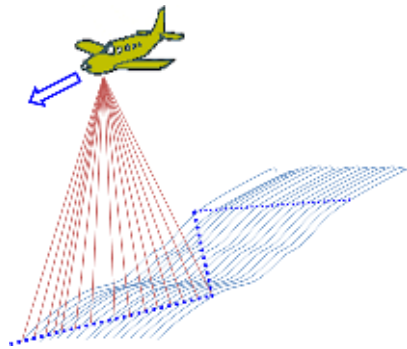


Varredura mecânica

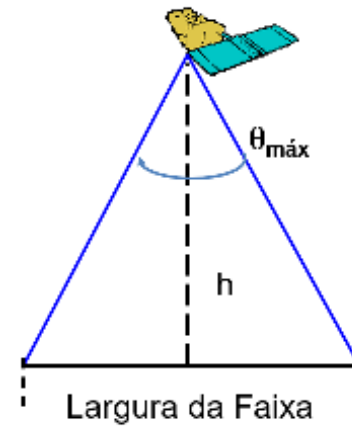
A solução encontrada é usar um espelho móvel na frente do detector para redirecionar o feixe incidente, ou seja, apontar o detector em diferentes direções na direção perpendicular ao deslocamento da plataforma. Com isto, não apenas um ponto é médio, mas uma linha transversal.



Aqui surge outro problema. Como a plataforma se desloca sem parar, esta linha não é perpendicular à linha de voo, mas sim inclinada e o movimento do espelho, ida e volta, pode produzir um padrão zig-zag na superfície varrida.



A cada descida do satélite uma faixa é varrida. A largura desta faixa depende da órbita, da altura à que se localiza o satélite e da abertura máxima permitido pelo sistema de varredura, ou seu campo de visão (Field of View – FoV). O FoV é controlado pelo movimento máximo do espelho. Geralmente se mantém um ângulo estreito para garantir maior resolução espacial.



A largura da faixa L é calculada como:

- $L = 2 * h \tan(0,5 * \theta_{\text{máx}})$

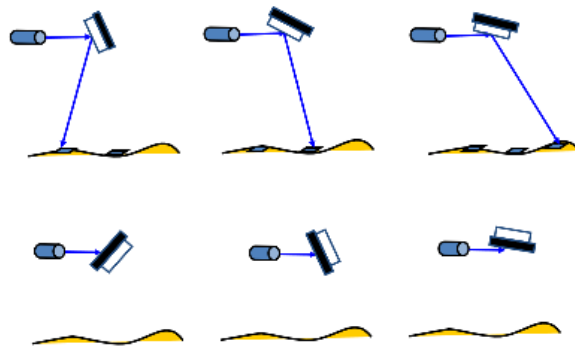
Com

- ângulo máximo ($\theta_{\text{máx}}$ - Field of View FOV).
- Altura da órbita (h)

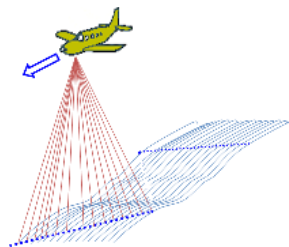


espelho rotatório

O padrão zig-zag é originado por um espelho oscilante e pode ser alterado usando um espelho rotatório. Neste caso, o espelho gira completamente e produz um padrão de linha na Terra. Porém, quando está orientado para cima, ele não permite capturar dados da Superfície da Terra. Ou seja, ele trabalha efetivamente apenas metade do tempo.



O resultado é que linhas paralelas e inclinadas são varridas, deixando um espaço sem leituras entre as linhas.

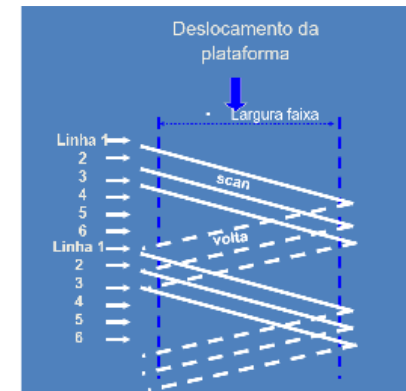
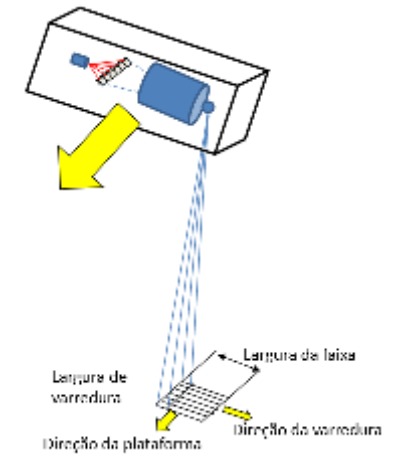


A solução encontrada é usar vários detectores, não tantos como em um imageador de quadro, mas suficientes para cobrir a faixa deixada em branco. Os detectores são deslocados no sentido transversal à trajetória da plataforma, de modo que uma faixa larga é varrida.

A largura da faixa é calculada de maneira que a seguinte faixa varrida caia exatamente após a primeira. Com isto, não ocorrem espaços sem varredura.

O número de detectores e a largura da faixa depende de vários fatores, como a órbita, a velocidade de deslocamento da plataforma e a velocidade de varredura do espelho.

O padrão, quando projetado na superfície da Terra é similar ao mostrado na figura abaixo.





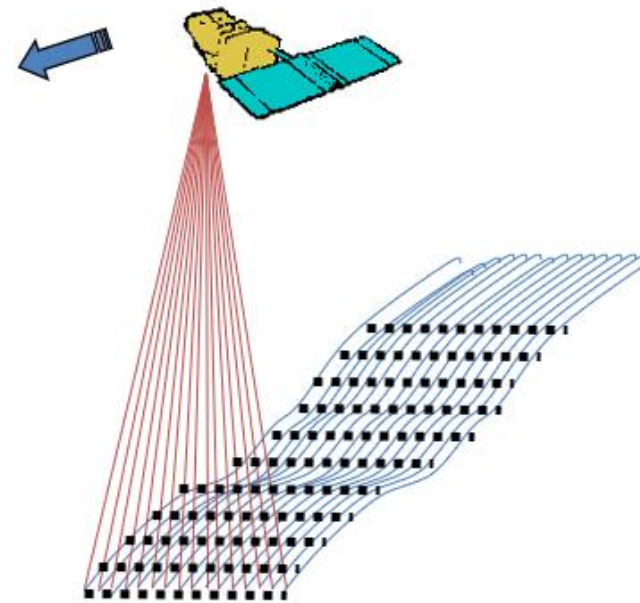
Varredura eletrônica

A varredura mecânica está entrando em desuso e sendo substituída pela varredura eletrônica. Neste caso, um arranjo linear de detectores é usado para varrer uma linha inteira transversal ao deslocamento da plataforma.

A vantagem de usar um sistema eletrônico é que não se depende do bom funcionamento do espelho. O sistema Landsat 7 teve problemas no seu sistema de espelhos rotativos e deixou de varrer toda a faixa, deixando espaços sem varredura ao longo de uma faixa.

O varredor eletrônico é geometricamente mais estável, porém pode sofrer de erros de calibração entre os múltiplos detectores. Uma fase de calibração em tempo real é necessária para garantir uniformidade de medição.

No caso do varredor eletrônico, os detectores são apontados formando um feixe. O ângulo de cada detector é calculado para garantir que as áreas unitárias varridas sejam contíguas e não apresentem falhas.





Resoluções

As imagens obtidas pelos sistemas de sensoriamento remoto variam muito em função do sensor e a plataforma utilizados. Algumas podem ter maior detalhe espacial e outras maior detalhe espectral, por exemplo. Por isso, elas são descritas em termos de suas resoluções: ou seja, sua capacidade de representar a informação sob diferentes aspectos. A resolução é medida em termos:

- Espectrais
- Espaciais
- Temporais
- Radiométricos

Resolução espectral

Diz respeito ao número e à largura das faixas espectrais usadas para o registro da imagem.

Sistemas com maior número de bandas espectrais (estreitas) são chamados de alta resolução espectral, porque permitem obter um alto detalhamento das variações espectrais dos objetos. Uma imagem pode ter, por exemplo, apenas uma única banda, representando uma faixa larga do espectro, ou pode ter várias bandas espectrais estreitas, uma para cada cor, por exemplo.

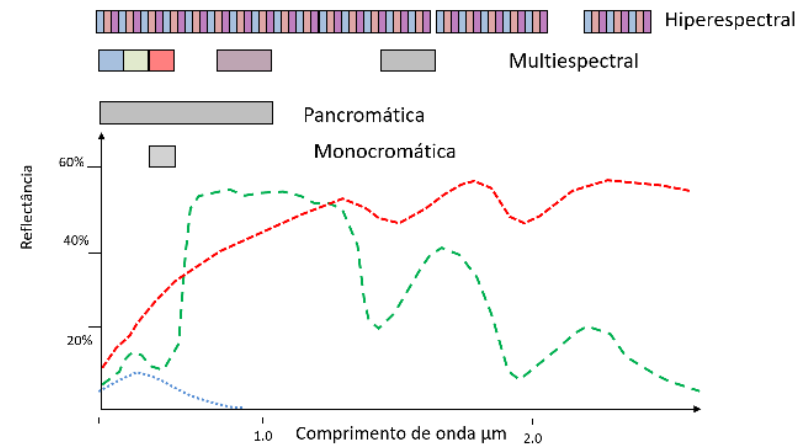
As imagens são classificadas em:

Monocromática: Uma imagem monocromática é gerada quando uma única faixa espectral estreita (pode corresponder a uma única cor) é registrada.

Pancromática: Uma imagem pancromática é gerada quando uma única faixa larga é registrada. Esta faixa espectral corresponde a várias cores (pan+cromático).

Multiespectral: Uma imagem multispectral é composta por várias matrizes, cada uma armazenando a informação dos pixels em uma região específica do espectro.

Hiperespectral: Quando o número de bandas é aumentado significativamente, centenas de bandas podem ser usadas. Estas imagens hiperespectrais fornecem uma descrição detalhada das características espectrais dos objetos.





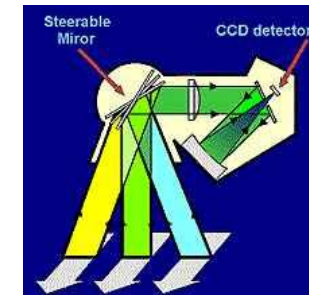
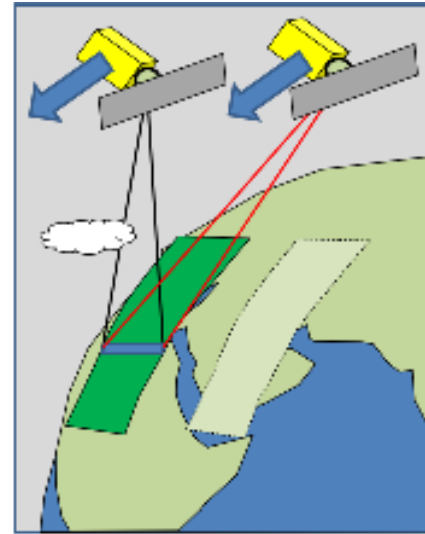
Resolução temporal

A resolução temporal descreve a frequência com que duas imagens do mesmo local podem ser obtidas. Quanto menor o intervalo entre duas imagens, maior a resolução temporal.

Os sistemas de órbita geossíncrona, equatorial, podem permanecer acima do mesmo ponto da Terra e assim obter imagens em pequenos intervalos. Isto é frequente em sistemas meteorológicos e de observação da atmosfera, por isso têm alta resolução temporal.

Os satélites em órbita polar ou semi-polar circundam em torno da Terra e, em combinação com o movimento de rotação do planeta, recobrem toda sua superfície desde o espaço. Como isto demanda tempo, o intervalo entre duas imagens consecutivas de uma mesma área depende das características orbitais da plataforma e a largura da faixa varrida. Algumas opções foram desenvolvidas para diminuir o intervalo entre imagens em sistemas semi-polares.

Inclinação do sensor – Uma possibilidade é obter uma imagem desde uma órbita próxima, antes de completar o ciclo de órbitas do satélite. Para isto, os sensores são orientados na direção transversal, possibilitando uma visada lateral. AO fazer isto, claro, deixa-se de obter a imagem nadiral correspondente. Esta opção foi introduzida com a finalidade de contornar o problema de cobertura de nuvens e reduzir o intervalo entre imagens. Porém tem outra vantagem. Observando a região desde dois pontos de vista diferente obtém-se a visão estereoscópica, o que permite calcular modelos digitais do terreno.



A inclinação é possível graças a um espelho que redireciona o campo de visão, como no sistema francês SPOT.

Combinação de satélites -Outra opção consiste em usar vários satélites com o mesmo sensor na mesma órbita, um atrás do outro. Assim o tempo entre imagens pode ser diminuído. Por exemplo, usando dois satélites, ele cai para a metade.



Resolução espacial

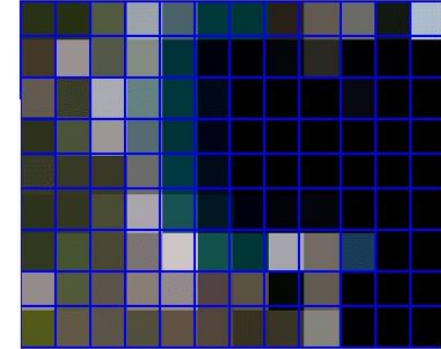
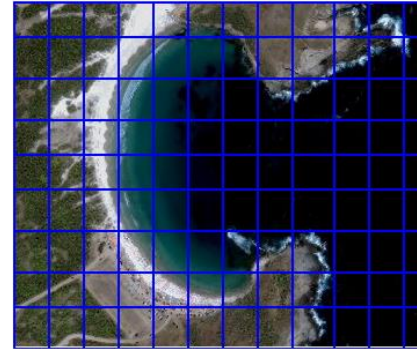
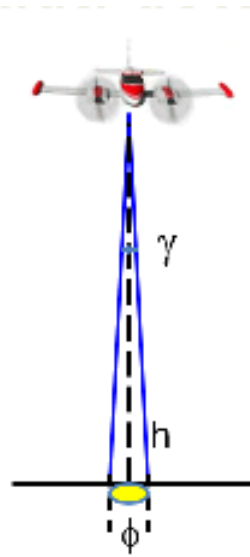
Na aquisição de uma imagem digital da superfície da Terra é necessário representar um espaço contínuo (a realidade) em um espaço discreto, a matriz digital. Este processo é conhecido como “discretização” do espaço e consiste em representar a superfície da terra sob forma de elementos discretos, os pixels, de forma regular.

Quanto menor for o tamanho do pixel, mais detalhe espacial pode ser armazenado na imagem, ou seja, aumenta a resolução espacial. Por isso, a resolução espacial do sistema está associada ao tamanho do pixel no terreno.

O tamanho do pixel depende da altura da órbita e do IFOV (campo de visão instantâneo).

Na prática se tenta manter um pequeno IFOV, porém o tamanho é condicionado pela capacidade de captar suficiente radiação eletromagnética com qualidade.

A consequência da simplificação do plano da imagem sob forma de uma malha regular finita, cujos elementos têm um tamanho fixo e constante (pixels), é que toda a energia proveniente da área coberta pelo detector (pixel) é armazenada com um único número.





Resolução radiométrica

A energia incidente no sensor é uma grandeza contínua, pode variar de zero até infinito. Armazenar um dado sob forma contínua demanda maior quantidade de memória além de que não é necessário esperar que ocorram valores extremamente grandes.

Por este motivo, a faixa de medição é restrita aos valores mais prováveis. O mesmo ocorre com um termómetro para medir a temperatura de uma rua. Deveríamos prever que ocorram temperaturas perto do zero absoluto (90 Kelvin)? E acima de 50 graus?

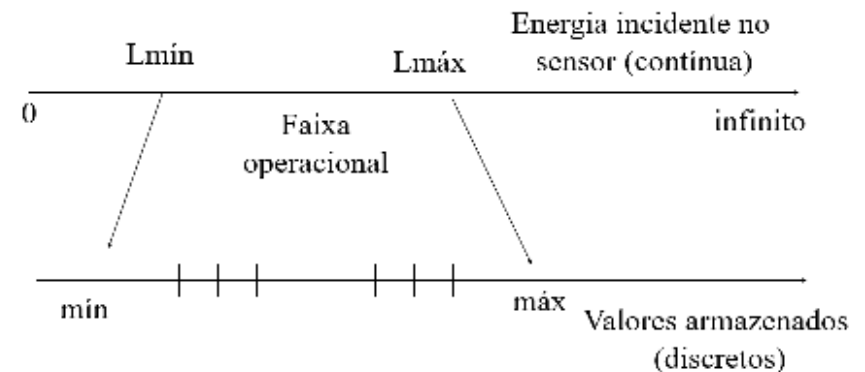
Para economizar memória e armazenar mais pixels no mesmo dispositivo, a faixa de variação é restrita à faixa operacional do sensor e os valores armazenados usando uma quantidade pequena de bits, sob forma de valores inteiros. No caso mais geral usa-se 8 bits, o que permite descrever 256 possibilidades variando de zero (ausência de energia) a 255 (saturação do sensor).

Isto introduz uma segunda simplificação na imagem, desta vez nos valores de radiação medidos.

Na prática, na fase de projeto do sensor, é definida a uma escala discreta de possíveis valores entre os limites operacionais do sensor (L_{\min} – L_{\max}) e uma função de transformação é proposta para transformar os dados contínuos em valores inteiros.

Com o aumento da capacidade de processamento e armazenamento dos computadores e sistemas digitais, a

resolução radiométrica cresceu, passando dos 8 bits tradicionalmente usados a 11 ou 16 bits.



Usando n bits é possível representar 2^n possibilidades, variando de zero a $2^n - 1$

- Qual a vantagem de se aumentar o número de bits por pixel?
- Se um sensor é capaz de armazenar dados de uma imagem pancromática com 11 bits, quantos níveis digitais tem esta imagem?
- Se uma plataforma se desloca a Altitude: 705 km e carrega um sensor com $FOV=29,45^\circ$, Qual o tamanho da faixa coberta por este sistema no terreno?



Tarefa

O governo de seu estado deseja atualizar suas cartas com imagens de satélite. Para isto, convocou os representantes de diferentes sistemas sensores para que apresentem seus produtos, descrevam as características de suas imagens, principais vantagens e possibilidade de resolver os seguintes problemas:

- a) Mapeamento de malha viária em áreas urbanas na escala 1:10000
- b) Mapeamento de áreas de preservação nativa na escala 1:50.000
- c) Previsão de safra de soja no sul do Brasil.

Como aluno do curso, assumo o papel de representante de um dos sistemas abaixo e prepare uma apresentação de 10 minutos para a seguinte aula:

Sistemas:

- a) Landsat
- b) SPOT
- c) Sentinel
- d) Geoeye
- e) ASTER
- f) Rapideye
- g) Siwei
- h) Imagesat international