



Sensoriamento Remoto II

GA115

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

Departamento de Geomática

UFPR

2020



Resposta espectral de alvos mais comuns

A finalidade do sensoriamento remoto é deduzir informações dos objetos a distância. Por exemplo, analisando a radiação eletromagnética proveniente do objeto e medida por um sensor. Para poder interpretar esta radiação e poder associar ela com algum fenômeno ou alteração que ocorre na superfície dos objetos da Terra, é necessário entender como a radiação interage com os alvos mais comumente vistos desde o espaço e como as mudanças de estado destas superfícies pode alterar a radiação refletida.

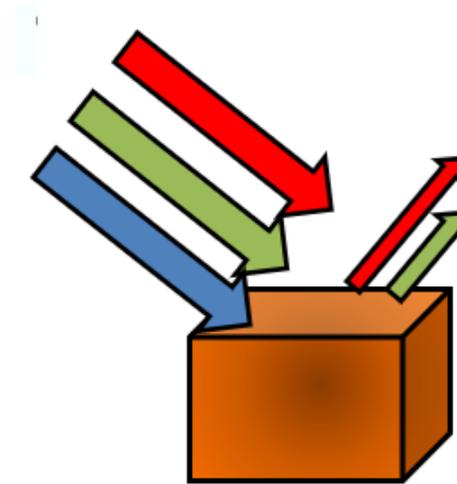
A visão da Terra desde o espaço se limita ao topo dos objetos. Por exemplo, uma árvore pode ter vários elementos de interesse, como o caule ou a raiz, porém desde o espaço apenas sua copa é visível. Deve-se levar em consideração, também, que a radiação eletromagnética dificilmente penetra nos objetos em algumas regiões do espectro, principalmente na região do visível. Assim sendo, a informação que se deduz, frequentemente, está associada à superfície do objeto.

Em alguns casos, porém, é possível inferir informação de algumas camadas interiores do objeto. Por exemplo, se um solo está seco, então a vegetação se torna amarela. Logo, monitorando a vegetação, suas mudanças de cor, pode-se inferir a umidade do solo.

Nesta seção serão abordados conceitos dos alvos naturais mais comuns em imagens de sensoriamento remoto, como a vegetação, os solos e a água. Porém, outros materiais

poderiam se incluídos, como neve, pouco frequente no Brasil, ou materiais artificiais encontrados em áreas urbanas, como telhados ou asfalto. Não é a intenção cobrir todos os materiais possíveis, mas quem assim o desejar, pode consultar bibliotecas espectrais disponíveis na internet. Uma delas é a ASTER spectral library.

Como se deseja deduzir informações dos objetos (alvos) analisando a radiação eletromagnética refletida, devemos estudar como a radiação interage com a superfície de cada objeto. Ela é absorvida ou refletida? Em quais comprimentos de onda? O que causa alterações na radiação refletida?





A vegetação

Desde o espaço, é mais frequente observar as copas das árvores, compostas por inúmeras folhas. Por este motivo, no caso da vegetação, as características espectrais da folha serão tratadas, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho, faixas de trabalho dos sensores ópticos.



Na região do visível, uma folha sadia absorve muita radiação eletromagnética. Por isso, podemos dizer que sua absorvância é alta. Também pode-se dizer que a transmitância é baixa. Sendo grande parte absorvida, fica muito pouca radiação para ser refletida, ou seja, a reflectância da folha no visível é baixa.

Os principais elementos responsáveis pela absorção são os pigmentos presentes na folha. Os pigmentos absorvem a radiação (energia) como insumo para processos vitais para a planta, como a fotossíntese. Na ausência de radiação solar uma planta sofre e pode morrer.

Os pigmentos mais comuns na folha são:

A Clorofila: que absorve em torno de 0,45 e 0,65 μ m

Caroteno e xantofilas (amarelos): absorvem em torno de 0,45 μ m.

Como a absorção destes pigmentos ocorre principalmente nas regiões das cores azul (0,45 μ m) e vermelho (0,65 μ m), a cor menos absorvida e, portanto, mais refletida é a cor verde. Assim, ocorre um Máximo de Reflectância em torno de 0,54 μ m.

Porém, na natureza podem ocorrer variações da concentração desses pigmentos. Por exemplo, na figura abaixo é mostrada parte de uma folha onde os pigmentos ocorrem e forma irregular.

Pode dizer por que algumas partes são verdes e escuras? E verdes e claras?

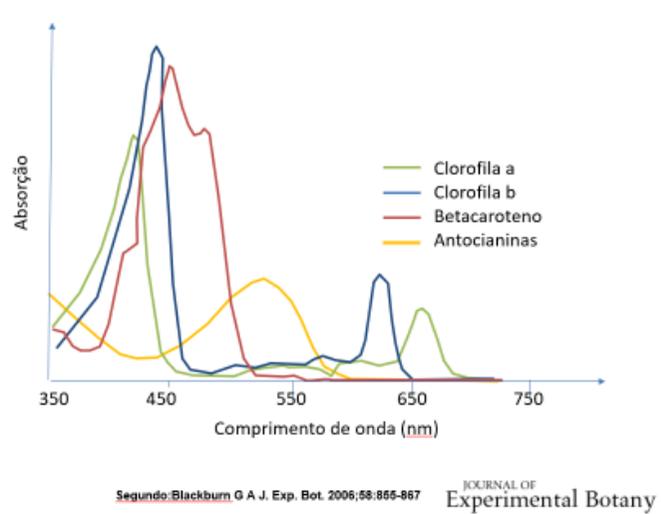
A que atribui as manchas rosa?

E as regiões esbranquiçadas?





A figura abaixo mostra a intensidade da absorção de radiação na folha ao longo da região visível.



As curvas dos dois tipos de clorofila são muito similares e apresentam picos elevados de absorção na faixa do azul. No verde a absorção é quase nula e no vermelho a absorção aumenta.

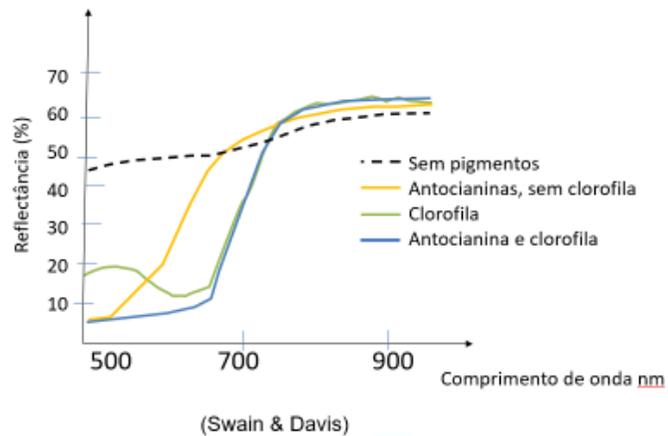
Os outros pigmentos absorvem principalmente no azul e com menor intensidade no verde. Bem, se o azul é fortemente absorvido, sobra radiação no vermelho e no verde. A combinação de luz vermelha e verde gera luz amarela, por isso estes pigmentos também são chamados de pigmentos amarelos.

Na seguinte fotografia são assinalados dois conjuntos de folhas da mesma árvore. Por que elas têm cores diferentes, se são folhas da mesma árvore?





Como a reflexão depende de quanto é absorvido pela folha, a cor da folha depende da presença de pigmentos. Na figura abaixo são mostradas as curvas de reflectância (capacidade da folha refletir a radiação eletromagnética) ao longo do visível em função da presença de pigmentos.



Estas curvas podem ser analisadas com ajuda da seguinte figura. Quando a vegetação contém bastante clorofila, uma folha sadia, sua aparência é verde, pois ela absorve no azul e no vermelho.

Se apenas contém pigmentos amarelos, então a folha absorve o azul e reflete o verde. Por exemplo, se uma folha sadia seca, deixa de fazer a fotossíntese, logo deixa de absorver radiação no azul e no vermelho, tornando-se amarela, pois os únicos pigmentos que absorvem radiação são as antocianinas e as xantofilas.

O caso extremo, quando a folha morre, a concentração de pigmentos diminui e a folha deixa de absorver radiação no visível. Assim, a folha se torna mais clara (reflete mais) e cinza, porque todas as cores são refletidas de forma parecida.

Então, é possível acompanhar o estado de uma plantação com imagens orbitais. Por exemplo, se a vegetação está seca ou se alguma deficiência no solo provoca um desequilíbrio na planta que altera sua fotossíntese.

Agora, com ajuda da câmera de seu celular obtenha fotografias de três folhas de espécies diferentes, e uma folha seca, procurando manter as condições de iluminação iguais.

Usando um programa como o Paint, determine as componentes red, Green e Blue (RGB) de um pixel na folha e preencha a tabela a seguir.

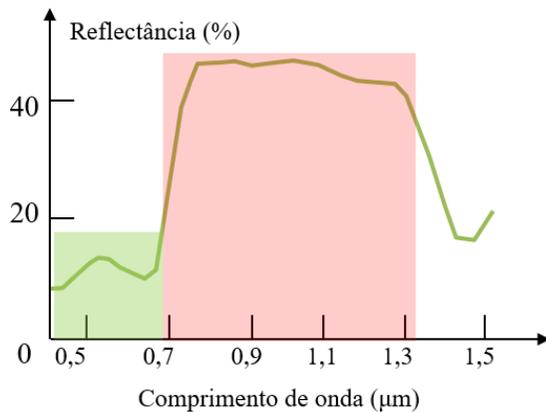
Pode dizer, em qual cor é mais fácil diferenciar as espécies? E em qual(is) banda(s) podemos caracterizar se a folha está seca?





Vegetação no Infravermelho próximo

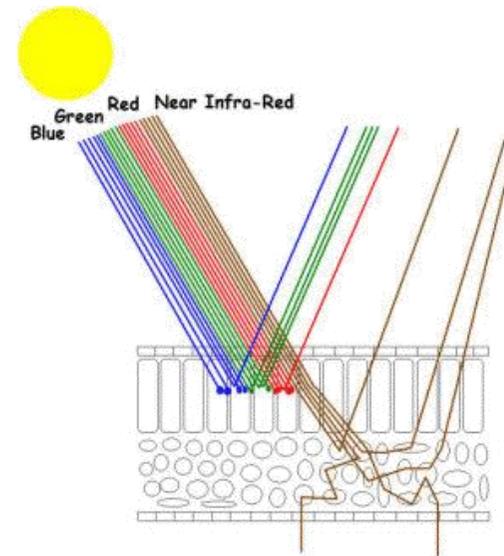
O ser humano não percebe a radiação no infravermelho, então podemos visualizar esta região apenas usando sensores artificiais para gerar as imagens. Porém, esta região é muito importante para a análise da vegetação, por isso ela é valorizada em estudos de agricultura e meio ambiente. Diferentemente do que ocorre na porção visível do espectro, na região do infravermelho próximo a absorção de radiação eletromagnética é muito pequena, quase nula.



Por outro lado, a reflexão da superfície da folha é alta, em torno de 50% da energia incidente é refletida nesta região do espectro. Como a reflectância no vermelho é baixa e alta no infravermelho próximo, ocorre uma transição muito rápida em torno de 0,7 . Esta região é conhecida como “red-edge”, ou borda do vermelho.

Aproximadamente 50% da radiação incidente penetra na folha (alta transmissão) e consegue atravessá-la. Os elementos presentes dentro da folha podem causar reflexão, aumentando a parcela refletida pela superfície. Ou seja, a estrutura interna da folha influencia a reflectância.

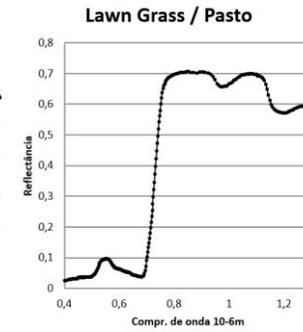
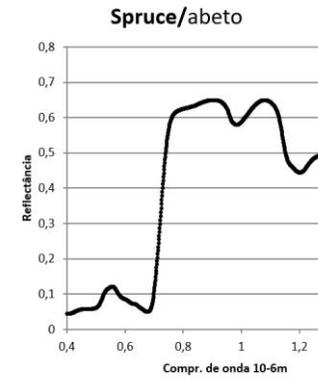
Como a reflectância depende do tecido interno esponjoso da planta (mesofilo), diferentes espécies vegetais refletem de forma diferente no infravermelho próximo. Por isto, esta região espectral é muito utilizada para a discriminação de espécies.



<http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s01.html>



Veja, por exemplo, a diferença entre dois tipos de folhas, abeto e pasto. Ambas as folhas refletem mais no verde e absorvem no azul e no vermelho, por isso aparecem verdes aos olhos. Porém, na região do infravermelho próximo a curva espectral é diferente. Como a estrutura destas folas é diferente, a folha reflete mais em certas regiões espectrais em cada uma das espécies.



Spruce

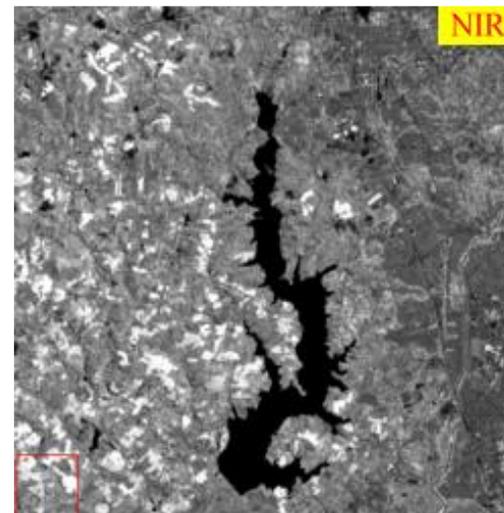
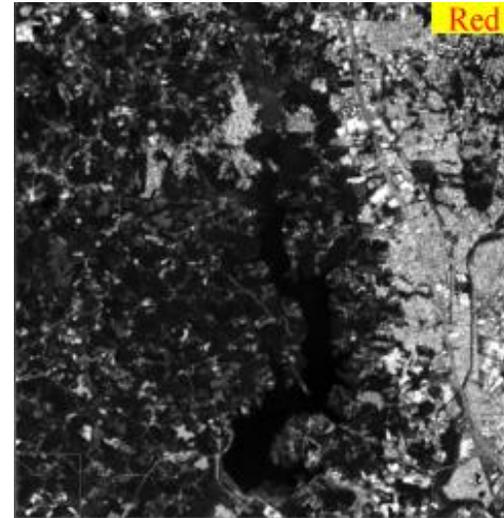


Lawn grass





Confira, nas imagens do vermelho e do infravermelho próximo (NIR) a alta absorção da vegetação no visível e a alta reflexão no NIR. As manchas claras na segunda imagem mostram alta reflexão no infravermelho próximo e baixa no visível, logo devem ser vegetação.





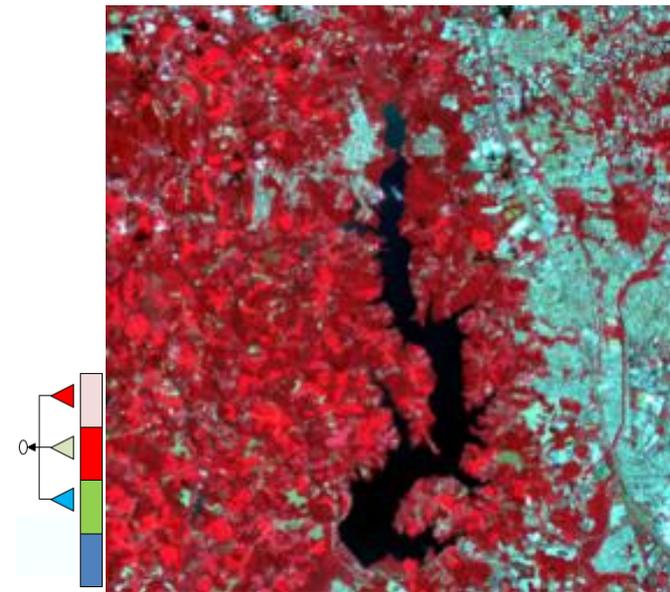
Como os dispositivos de visualização podem apenas usar três cores, é necessário descartar uma banda do visível. Assim sendo, em lugar de se visualizar a composição RGB, visualiza-se a composição NIR-R-G (falsa cor).

Esta é uma composição colorida RGB tradicional.



Aqui, a associação entre as bandas da imagem (RGB) coincide com os canais bandas do display. O vermelho está associado a canal R, o verde ao G e o azul ao B.

Esta é uma composição colorida falsa cor. O infravermelho próximo está associado à cor azul do display, o vermelho está associado ao verde do display e o verde da imagem associado ao azul do display. Não tem informações do azul da imagem.



Pode explicar, por que vemos áreas vermelhas claras e áreas vermelhas escuras?



Vegetação no infravermelho médio

Na região do infravermelho médio, a reflectância é dominada pela presença de umidade na folha. A água apresenta três grandes picos de absorção, em torno de 1,4, 1,9, e 2,7 μm . Se você se lembra das janelas atmosféricas, estas regiões também apresentavam alta absorção na atmosfera por causa da água.

Então, se a água absorve muito nestas três regiões, a reflectância é muito baixa.

Na figura ao lado são mostradas duas curvas. A linha tracejada corresponde à absorção da água na folha. A absorção provocada pela água é baixa no visível e no infravermelho próximo, até aproximadamente 1,3 micras.

No infravermelho médio a absorção aumenta, chegando a se registrar um pico em torno de 1,4 micras. Outro pico é visto em torno de 1,9-2,0, nesta figura.

Se a absorção é alta, diminui a reflexão, por isso a reflectância diminui no infravermelho médio, especialmente nos locais onde ocorrem os picos de absorção, como mostra a linha cheia.

Um pico maior se encontra em torno de 2,7 micras, o que causa a queda acentuada no final deste gráfico.

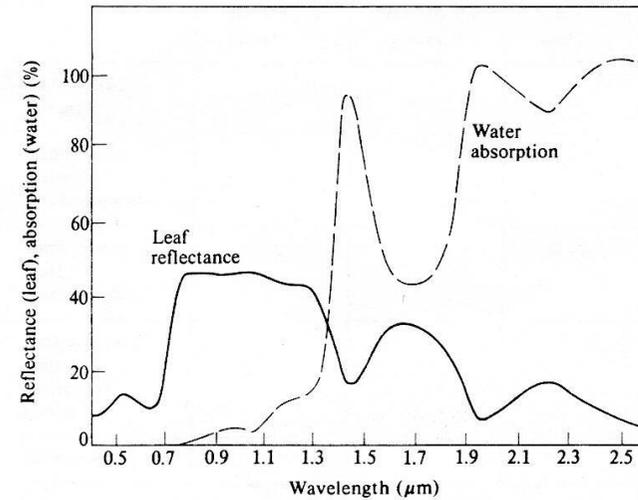


Figure 5-9 The inverse relationship between leaf reflectance and water absorption. The water-absorption curve represents the amount of absorption caused by a layer of water 1 mm deep. (After Hoffer and Johannsen.³)

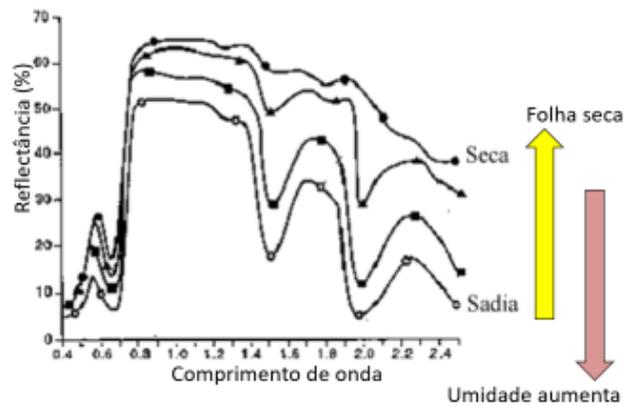
Swain and Davies (1978)

Esta curva, claro, é para o caso de uma folha sadia, com boa produção de clorofila e em condições ótimas de umidade.



Quando o teor de umidade na folha diminui, a absorção também diminui e, conseqüentemente, a reflectância aumenta.

Na figura a seguir pode ser vista a variação da reflectância em função da variação do teor de umidade. Quanto menor o teor de umidade, mais seca é a folha.



Efeito da variação da umidade na folha, Swain and Davies (1978)

Uma folha sadia absorve muita radiação no infravermelho médio. Se o teor de umidade diminuir, a folha absorve cada vez menos radiação eletromagnética, com o que os vales acentuados de reflectância diminuem.

A diminuição do teor de umidade tem outras conseqüências na folha. Se a umidade diminui, muda-se também a estrutura interna da folha, a composição do mesófilo, pois a

água deixa de ocupar espaços nesta camada. Com isto, a folha passa a refletir mais radiação no infravermelho próximo também.

Claro que se a planta não está recebendo suficiente água, ela enfrenta problemas para fazer a fotossíntese e diminui a produção de clorofila. Se a concentração de pigmentos na folha diminui, a folha também passa a refletir mais no visível.

Se o teor de umidade for baixo e a quantidade de clorofila diminuir acentuadamente, o pico de absorção no vermelho desaparece, ficando apenas a absorção no azul, causada pelos pigmentos amarelos. Com isto, a folha se torna amarelada.





Características espectrais da água



Se perguntássemos a uma criança de que cor a água, podemos esperar respostas como:

“azul”

Ao final, é como a água é comumente representada em mapas ou pinturas.

Mas nem uma pessoa adulta comum pode responder se a água reflete pouco ou muito no infravermelho. Porém, no sensoriamento remoto podemos usar imagens do infravermelho para analisar corpos de água como o mar, lagos, rios e banhados, então, vamos dar uma olhada nas características espectrais da água.



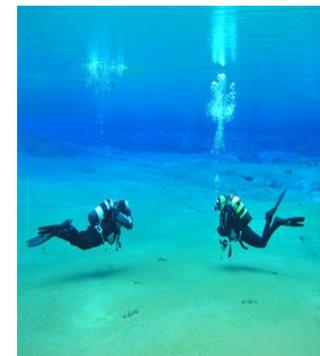
Resposta espectral no visível

A água tem baixa reflectância na região do visível, entre $0,38$ e $0,7\mu\text{m}$. Outra característica da água no visível é que sua transmitância é alta. Ou seja, ela deixa passar quase toda radiação solar, ela é transparente.

Se a água não reflete luz, isto não significa que ela é escura como o carvão (preto). Mas isto se deve à sua transmitância. A água é transparente, pois deixa passar quase toda a luz, mas ela absorve um pouco da luz, muito pouco, principalmente na região do vermelho.

Por isso, a luz solar consegue penetrar na água com facilidade até certas profundidades, principalmente em comprimentos de onda entre o verde e o azul. Quando a profundidade é muito grande, porém, pouca luz se encontra disponível, porque ela é absorvida pela coluna de água. O pico de transmitância ocorre em $0,48\mu\text{m}$. Pode dizer qual cor seria ?

Pergunta: Se você já praticou mergulho, que cor predomina em profundidades em torno de 1m ? Se nunca praticou, pode imaginar como seria a partir de filmes com cenas submarinas?



www.borneotourstravel.com/borneo-tours/kota-kinabalu-scuba-diving

Água no infravermelho

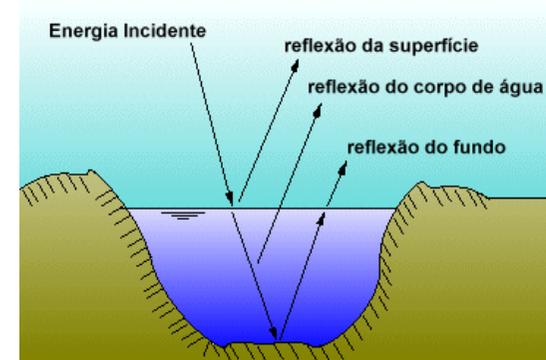
No infravermelho próximo, a água absorve muito, não deixando a radiação passar nem ser refletida. Por isso, pode-se dizer que a água absorve toda a energia solar incidente em comprimentos de onda acima de $0,7 \mu\text{m}$.

A imagem abaixo mostra a cidade de Guaratuba em uma imagem do visível (RGB) e em uma composição que inclui o infravermelho. Perceba como no visível a água reflete um pouco, pode ser por causa dos sedimentos em suspensão, e penetra nas áreas rasas perto das ilhas. Já no infravermelho a água aparece totalmente escura.



Na prática, a penetração da energia eletromagnética em corpos de água e sua reflexão dependem de outros fatores, como a:

- Turbidez,
- Materiais em suspensão,
- Elementos dissolvidos



Por isso, ao ser observado desde um satélite, um corpo de água, como um rio ou lago, pode adquirir “cores”, que dependem dos materiais sendo transportados ou dissolvidos.

Em regiões paradas de água limpa, é possível ver o fundo até certa profundidade. Existem estudos para estimar a profundidade com imagens de satélite.



Fatores que alteram a resposta espectral da água

Sedimentos em suspensão e matéria dissolvida podem dar cor a um corpo de água, dependendo muito da natureza do solo ou matéria envolvida.

A turbidez aumenta a reflectância de corpos de água porque os elementos em suspensão passam a refletir a radiação eletromagnética (não a água). Este fenômeno é percebido principalmente na região visível do espectro. Veja o contraste entre o Solimões (com sedimentos) e o Rio Negro. Acima de $0.9 \mu\text{m}$ a água, mesmo turva, absorve toda a energia incidente.

Um efeito contrário é causado pela presença de Matéria Orgânica, que absorve a radiação incidente. Águas com teor de matéria orgânica releem em uma cor marrom escura.

Elementos dissolvidos também podem alterar a cor da água. Por exemplo, a Clorofila reduz a reflectância na faixa do azul e vermelho, como que aumenta a reflectância principalmente na região correspondente à cor verde.





Características espectrais dos solos



É difícil caracterizar a resposta espectral dos solos, pois são o resultado de uma complexa mistura de diferentes elementos. Ainda, com sensoriamento remoto é possível apenas enxergar a camada superior dos solos, a qual na natureza pode ser recoberta por vegetação. Porém, estudos em laboratório foram realizados analisando diferentes solos, levantando as principais características espectrais mais comuns e elementos que podem alterar sua aparência.

Foi constatado que existe uma tendência geral de que nos solos a resposta espectral aumente com o comprimento de onda nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Ou seja, a refletância cresce com o comprimento de onda.

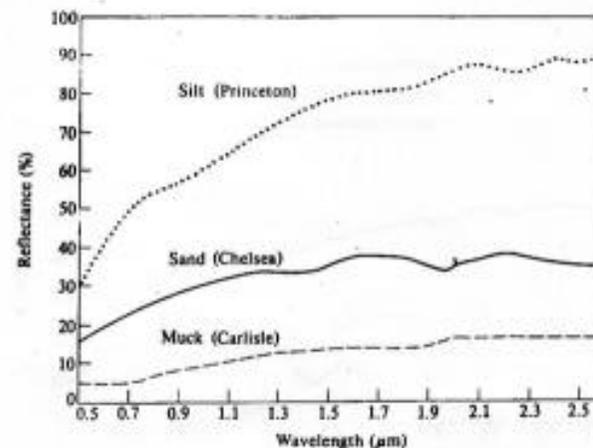


Figure 5-11 DK-2 spectral reflectance curves for three soil types at low moisture contents. (After Hojfer.)

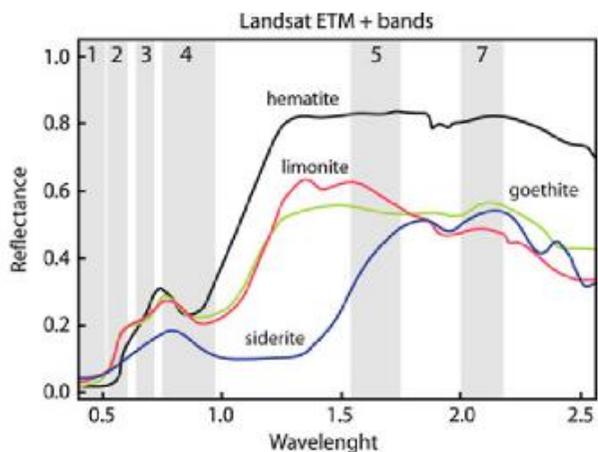
Em algumas regiões específicas o efeito do teor de certas substâncias pode causar faixas de absorção específicas. Devido à constituição própria de cada solo, estas faixas de absorção podem atribuir a sua curva espectral uma forma diferente. Isso permite identificar a presença de certos minerais nos solos através de imagens de sensoriamento remoto.

Por exemplo, bandas de absorção em torno de 1,4 e 2,2 micras apontam a presença de caulinita e/ou montmorilonita, um argilomineral. A seguir são listados os principais elementos estudados em sensoriamento remoto de solos.

Presença de Ferro:

A presença de óxido de ferro diminui a refletância em torno de 0,5 e 0,64, por isso a cor de um solo com este composto tem aparência amarelada ou alaranjada. Em regiões tropicais, como o Brasil, é muito comum encontrar solos com teor de óxidos de ferro, sendo comuns a hematita (avermelhada)

e a goethita (amarelada), por isso os solos podem ganhar tonalidades avermelhadas. As bandas típicas de absorção ficam em torno de 0,48 μm para goethita e 0,53 μm para hematita. Devido às faixas de absorção do ferro, solos com teor de ferro se tornam mais escuros ao longo do visível e infravermelho próximo. Na figura abaixo são mostradas as curvas de reflectância de óxidos de ferro. Acima de 1,1 a presença de ferro não causa grandes mudanças.



Andrea Ciampalin et al (2013). Potential Use of Remote Sensing Techniques for Exploration of Iron Deposits in Western Sahara and Southwest of Algeria. Natural Resources Research 22(3).

Matéria orgânica

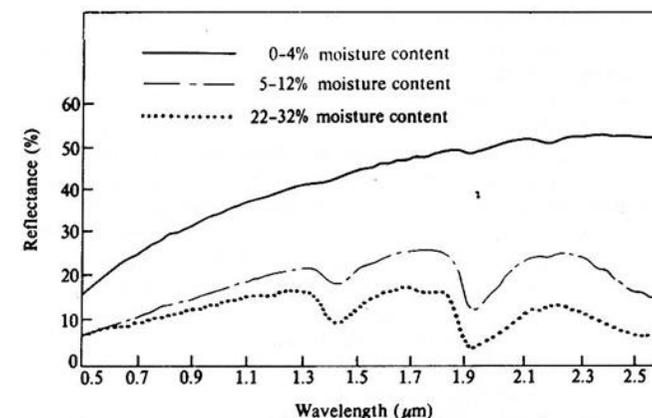
A matéria orgânica, de forma geral, escurece os solos, ou seja, diminui sua reflectância, principalmente na região do visível. Fortes bandas de absorção causadas pela matéria orgânica foram observadas em torno de 0,5 a 1,1 micras, especialmente nas regiões de 0,48 e 0,53, que ficam perto



da cor azul. A matéria orgânica: diminui a reflectância, escurecendo a mistura (aparência marrom ou preta), dependendo das condições ambientais e climáticas.

Umidade

O teor de umidade dos solos origina alterações espectrais. Por exemplo, é fácil verificar visualmente se o solo está molhado ou seco. Porém, é mais difícil, visualmente, prever o teor de umidade. Afortunadamente, na região do infravermelho médio, a presença de água causa grandes alterações na curva espectral de solos. As bandas de absorção da água, em torno de 1,4, 1,9 e 2,7 micras são bem visíveis nos solos.



Influência da umidade no solo, segundo Hoffer & Johannsen.

No infravermelho, a umidade é o fator mais preponderante na resposta espectral dos solos. A presença de água reduz a temperatura do solo, e com isto as características da radiação por eles emitida.



Com a umidade, a curva de emitância diminui e o pico máximo de emissão desloca-se para valores de comprimento de onda maiores.

Por outro lado, a umidade aumenta a inércia térmica dos solos, aumentando seu calor específico e a condutividade. Com isto, os solos úmidos tendem a esfriar ou aquecer mais lentamente. Então, solos úmidos podem aparecer mais frios durante o dia, enquanto à noite permanecem por mais tempo aquecidos, quando comparados com solos secos

Vale apenas também lembrar que a granulometria afeta a textura superior dos solos. Solos arenosos podem parecer mais rugosos e por isso dar maiores condições para a reflexão difusa.

Granulometria (tamanho das partículas)

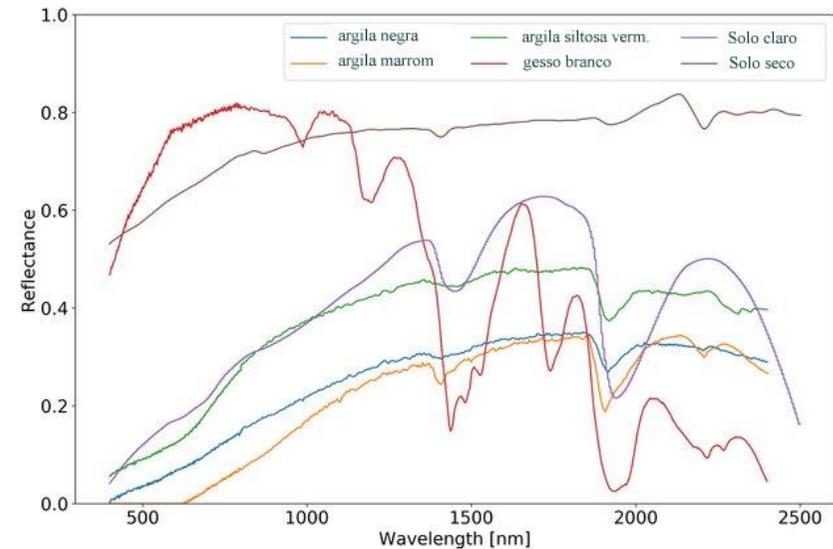
Granulometria é a proporção de grãos de diferentes tamanhos: argilas (finos), silte e areia (mais grossos). Ela varia de solo para solo. De uma maneira geral, solos arenosos têm maior reflectância, pois são ricos em quartzo, que reflete muito, e pobres em matéria orgânica ou ferro.

Por outro lado, a presença de partículas mais finas, argilas dificulta o escoamento de água no solo, porque os espaços entre os grãos são pequenos. Por isso, solos com argilas podem apresentar fortes bandas de absorção em torno de 1,4, 1,9 e 2,7 micras, causadas pela umidade.

Como é visto na figura, um solo "claro" pode ter ainda os vales causados pela absorção de água. Já o solo seco não apresenta estes vales. Mesmo o gesso, que no visível

apresenta valores altos (branco) tem as bandas de absorção e água no infravermelho médio.

Observe que, de forma geral, estes solos têm uma tendência crescente no visível. Quanto maior o comprimento de onda, maior a reflectância, e que no infravermelho os picos de absorção da água são bem característicos.



Jennifer Adams, J.; Lewis, P.; Disney, M. Decoupling Canopy Structure and Leaf Biochemistry: Testing the Utility of Directional Area Scattering Factor (DASF). Remote Sensing · November 2018

Quem se interessar por solos, pode consultar: Ricardo Simão Diniz Dalmolin, R.S.D.; Gonçalves, C.N.; Klamt, E.; Dick, D.P.; Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. Cienc. Rural vol.35 no.2 Santa Maria Mar./Apr. 2005.



Alterações ambientais

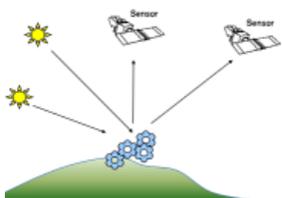
As curvas apresentadas acima são resultado de estudos em laboratório usando um aparelho para medir a reflectância (espectrorradiômetro). Porém, a aparência dos objetos na superfície da Terra em imagens de sensoriamento remoto pode apresentar algumas variações decorrentes da geometria e do meio ambiente, eles não possuem aparência homogênea.

Entre os principais fatores estão:

- A geometria da observação.
- O ângulo de elevação solar.
- A variação do relevo local,
- o espalhamento atmosférico e
- variações ambientais da cobertura.

A geometria da observação

A posição do sensor, da fonte e a inclinação da superfície do terreno podem alterar a aparência do alvo. Por isso é procurado obter imagens sempre à mesma hora local, para minimizar as diferenças devido às condições de iluminação.

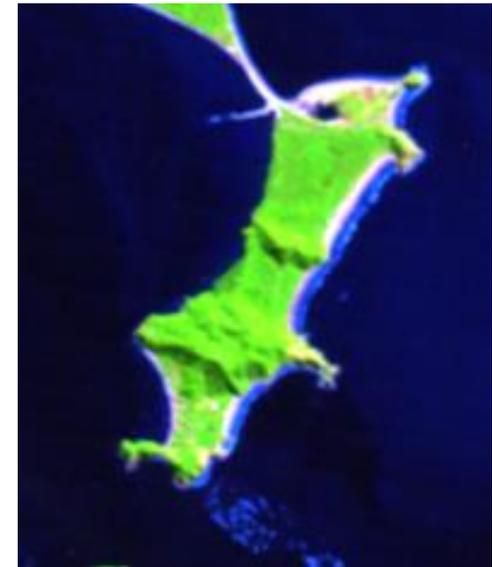


Porém, nem sempre isto é possível, pois o ângulo de elevação solar varia ao longo do ano.

Relevo

Isto tem muito a ver com a topografia.

Regiões montanhosas podem ter faces do terreno apontadas para o sol e outras na sombra. Assim, a mesma cobertura ganha duas aparências, clara e escura. Veja na imagem da ilha do mel, ao lado, como a mesma vegetação aparece em verde claro (ensolarado) e em verde escuro (na sombra).



diferentes.

É relevante também considerar os outros elementos em torno do objeto e que podem estar no mesmo pixel. Eles podem projetar sombras ou reflexões no objeto e, quando agregados no pixel, podem tornar a leitura mais clara ou mais escura. Imagine uma vegetação no meio de um solo seco (claro) e a mesma vegetação no meio de água (escura). O pixel, nestes casos, terá valores



Resumo

Pode, agora, com base no que aprendeu, traçar as curvas espectrais (reflectância vs. comprimento de onda) de solo, vegetação e água, sem olhar o desenho ao lado?

Se conseguir, então está indo bem no curso, parabéns.

Se colou... hm... coisa feia” O desenho ao lado está só para “conferir” seu resultado.

