



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL – INPE

SENSORIAMENTO REMOTO DE SISTEMAS AQUÁTICOS (PQ011)



SUA PROVA

- Além deste caderno contendo **5 (cinco)** questões discursivas **com as respectivas folhas de rascunho**, você receberá do fiscal de prova as folhas de textos definitivos;



TEMPO

- Você dispõe de **4 (quatro) horas** para a realização da prova;
- **2 (duas) horas** após o início da prova, é possível retirar-se da sala, sem levar o caderno de questões;
- A partir dos **30 (trinta) minutos** anteriores ao término da prova é possível retirar-se da sala **levando o caderno de questões**.



NÃO SERÁ PERMITIDO

- Qualquer tipo de comunicação entre os candidatos durante a aplicação da prova;
- Anotar informações relativas às respostas em qualquer outro meio que não seja no caderno de questões e nas folhas de textos definitivos;
- Levantar da cadeira sem autorização do fiscal de sala;
- Usar o sanitário ao término da prova, após deixar a sala.



INFORMAÇÕES GERAIS

- Verifique se seu caderno de questões está completo, sem repetição de questões ou falhas. Caso contrário, **notifique imediatamente o fiscal da sala**, para que sejam tomadas as devidas providências;
- Confira seus dados pessoais, especialmente nome, número de inscrição e documento de identidade e leia atentamente as instruções para preencher as folhas de textos definitivos;
- Para o preenchimento das folhas de textos definitivos, use somente caneta esferográfica, fabricada em material transparente, com tinta preta ou azul;
- Assine seu nome apenas no(s) espaço(s) reservado(s) no cartão de respostas;
- Caso você tenha recebido caderno de cargo **diferente** do impresso em suas folhas de textos definitivos, o fiscal deve ser **obrigatoriamente** informado para o devido registro na ata da sala;
- O preenchimento das folhas de textos definitivos é de sua responsabilidade e **não será permitida a troca de folha de texto definitivo em caso de erro cometido pelo candidato**;
- Para fins de avaliação, serão levadas em consideração apenas os textos das folhas de textos definitivos;
- A FGV coletará as impressões digitais dos candidatos na lista de presença;
- Os candidatos serão submetidos ao sistema de detecção de metais quando do ingresso e da saída de sanitários durante a realização das provas.
- **Boa prova!**

QUESTÃO 1

Considerando o seu conhecimento em sensoriamento remoto de sistemas aquáticos, suponha que você tenha sido convidado por uma empresa de gestão de recursos hídricos para participar de uma reunião técnica. Essa empresa é encarregada de monitorar a qualidade da água de um reservatório que possui dimensões aproximadamente retangulares para o seu espelho d'água (0,24 km de largura por 11,3 km de comprimento). O reservatório está situado em uma região do Brasil caracterizada por uma marcante sazonalidade na precipitação pluviométrica, com estações secas e chuvosas bem definidas.

A empresa apresentou duas opções concretas para o monitoramento sazonal dos constituintes opticamente ativos da água, especialmente clorofila e sedimentos em suspensão. A primeira alternativa é o aproveitamento dos dados diários da terceira geração da constelação de satélites *PlanetScope*, conhecida como *SuperDove* (8 bandas espectrais), que incorporou quatro novas bandas espectrais em comparação com suas versões anteriores. A segunda opção consiste na utilização dos dados diários provenientes do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), com 36 bandas, embarcado nos satélites Terra e Aqua.

A empresa também considerou a possibilidade de adquirir futuramente dados da missão hiperespectral *Environmental Mapping and Analysis Program* (EnMAP) para monitorar macrófitas e, sempre que possível, florações de cianobactérias na superfície deste reservatório. Esta possibilidade foi motivada pela detecção da banda de absorção de ficocianina em espectros de reflectância obtidos em campo. Lançado em abril de 2022, o satélite EnMAP obtém imagens em 224 bandas estreitas, abrangendo as faixas espectrais do visível, da borda vermelha, do infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas (400-2500nm). A largura da faixa de imageamento é de 30km e a resolução espacial do instrumento é de 30 metros. A resolução temporal é de aproximadamente 30 dias, mas a frequência de revisita de cena pode alcançar quatro dias através do direcionamento ou apontamento do satélite.

Considerando este cenário, responda aos itens a seguir.

- A) Entre as duas opções sugeridas pela empresa (MODIS ou *SuperDove*), indique o conjunto mais apropriado de dados para o monitoramento sazonal de clorofila e sedimentos em suspensão no reservatório em discussão. Mencione claramente o critério principal usado para justificar sua indicação.
- B₁) Para fins de monitoramento da água, descreva os *conflitos de escolha* normalmente existentes, durante o planejamento de missões satelitais pelas agências espaciais, entre altitude do satélite, campo de visada e resoluções espacial/temporal. Em outras palavras, discuta como a escolha de um fator repercute sobre a definição do outro, mostrando as diferenças nos processos de geração de imagens MODIS e *SuperDove*.
- B₂) Justifique a declaração que *o advento das constelações de satélites representa a resolução parcial destes conflitos de escolhas, contribuindo para a redução de alguns efeitos bidirecionais observados em séries temporais de dados MODIS*. Indique, no entanto, qual seria a principal dificuldade de se utilizar séries temporais de dados de alta resolução espacial da constelação de satélites *PlanetScope SuperDove* para o monitoramento sazonal dos constituintes opticamente ativos da água do reservatório em questão.
- C) Discuta a possibilidade de a empresa utilizar dados do satélite EnMAP para gerar um produto quantificando, pixel-a-pixel, as variações relativas na profundidade da banda de absorção de ficocianina. Usando equações, descreva detalhadamente o método mais adequado para gerar este produto. Indique o comprimento de onda de máxima absorção por este pigmento. Finalmente, descreva a importância da determinação da profundidade de banda de absorção de ficocianina para análise espectro-temporal das águas deste reservatório, incluindo o estudo de cianobactérias e macrófitas aquáticas.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

QUESTÃO 2

A teoria de transferência radiativa serve como base para a interpretação da maioria das observações radiométricas no campo da hidrologia óptica. Serve também como base para compensar efeitos ópticos da atmosfera, permitindo converter a radiância observada por um sensor remoto na radiância que seria observada na superfície. Essa teoria, de mais de 100 anos, apenas recentemente foi derivada diretamente do eletromagnetismo (física clássica) e, portanto, harmonizada com a óptica quântica (física contemporânea). Essa derivação foi importante para estabelecer sobre quais circunstâncias a teoria de transferência radiativa é uma aproximação válida para descrever processos ópticos e prover uma compreensão teórica do que é a radiância.

No entanto, apesar do rigor da formulação vetorizada da equação de transferência radiativa, a grande maioria dos estudos em hidrologia óptica utiliza apenas uma aproximação com menor justificativa na física, isto é, uma formulação escalar e muitas vezes monocromática. Outra aproximação tipicamente utilizada em sistemas ou profundidades, em que a contribuição óptica do substrato é significativa para a radiância emergente da superfície do sistema aquático, é a premissa de que a distribuição bi-direcional da reflectância do substrato segue o modelo de Lambert, isto é, seu valor é independente da direção. Essas aproximações ou simplificações na representação dos processos físicos envolvidos produzem uma classe de erros em simulações, sendo necessário considerar se essas simulações são apropriadas para interpretação das condições de interesse do pesquisador.

Uma classe distinta de aproximações e simplificações está relacionada à representação do sistema aquático. O modelo *hydrolight*, por exemplo, largamente utilizado na literatura especializada, é um modelo essencialmente unidimensional, isto é, considera um sistema aquático formado por camadas retangulares homogêneas de infinita extensão lateral, onde as diferentes camadas podem ter propriedades ópticas distintas, permitindo variação vertical, mas não horizontal. Esta simplificação da representação do sistema aquático também implica em uma limitação das condições que podem ser interpretadas com este modelo.

Com base nas afirmações acima, responda aos itens a seguir.

- A) Descreva as condições nas quais a teoria de transferência radiativa é uma aproximação válida para descrever a múltipla interação entre matéria e energia eletromagnética. Inclua exemplos de sistemas aquáticos naturais (condições ou componentes), onde a teoria é uma aproximação válida e onde é inválida.**
- B) Descreva as condições nas quais a formulação monocromática e/ou escalar da equação de transferência radiativa pode ser usada como uma aproximação válida para descrever observações radiométricas em sistemas aquáticos naturais. Inclua justificativas para utilizar essa aproximação e discuta os possíveis erros que advêm dessa aproximação. Inclua, também, aspectos relacionados às faixas ópticas, processos ópticos e componentes do sistema.**
- C) Discuta porque os modelos unidimensionais são inapropriados para interpretar os sinais radiométricos coletados por instrumentos submersos na coluna d'água ou em contato direto com a coluna d'água, quando o sistema aquático possui elevado coeficiente de absorção. Inclua uma consideração para explicar por que esse efeito é mais relevante em sistemas com elevado coeficiente de absorção.**

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

QUESTÃO 3

Devido à baixa reflectância da água, às variações em sua composição, e a existência de ambientes aquáticos de diferentes formas e dimensões, o sensoriamento remoto orbital de sistemas aquáticos necessita de sensores que tenham adequadas resoluções espectral, radiométrica e espacial. Além disso, a resolução temporal é crítica para os estudos que envolvem alta periodicidade de observação, como o acompanhamento da dinâmica espaço-temporal de um determinado constituinte em corpos d'água. Entretanto, algumas limitações são impostas pelas características dos sistemas satélite-sensores disponíveis e pela alta incidência de nuvens em imagens de sensores ópticos.

Atualmente, nenhum sensor óptico de média resolução espacial (~10-100m) consegue fornecer, de maneira independente, a frequência de aquisições necessária, por exemplo, para o adequado monitoramento da qualidade da água de lagos de médio porte. Neste contexto, visando aumentar a disponibilidade de dados de média resolução espacial, tem-se explorado o conceito de Constelação Virtual, que consiste na combinação de dados de diferentes sensores orbitais, permitindo a construção de séries temporais multisensor. No entanto, esse processo é bastante desafiador, exigindo a aplicação de várias etapas de processamento para harmonização das imagens dos diferentes sensores, visando ter um produto de reflectância de superfície consistente.

Mediante o exposto, considerando a ampla gama de aplicações de sensoriamento remoto de ecossistemas aquáticos, responda aos itens a seguir.

- A) Indique os principais fatores a serem considerados quando se pretende combinar dados de diferentes sensores ópticos orbitais de média resolução espacial em uma mesma série temporal.**
- B) Justifique a importância/impacto de cada fator.**
- C) Indique os processamentos que podem ser aplicados, visando a eliminar ou a reduzir as diferenças entre os dados dos sensores, para a obtenção de uma série temporal de imagens de reflectância de superfície multisensor harmonizadas.**

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

QUESTÃO 4

Você é o responsável por um projeto que envolve a utilização de imagens de um sensor orbital óptico para a geração de modelos para estimativa de parâmetros biofísicos das águas de represas no Brasil. Sabe-se que a correção atmosférica é crítica quando se trata de sensoriamento remoto da água e que a obtenção de valores de reflectância da superfície corretos requer uma correção atmosférica rigorosa, bem como a correção de *glint*. Além disso, considera-se que as correções atmosféricas processadas em lote por algumas agências espaciais podem não atender ao rigor necessário quando se trata de sensoriamento remoto de sistemas aquáticos. A grande maioria dos modelos de transferência radiativa para a correção atmosférica, usando *softwares* livres ou comerciais, se baseiam no MODTRAN, LOWTRAN ou 6S, tendo, portanto, uma base comum de modelos de atmosfera gasosa e de aerossóis.

Tomando como base esse enunciado, responda aos itens a seguir.

- A) Apresente os termos da equação da transferência radiativa na atmosfera em que a radiância (L) varia em função do caminho óptico na atmosfera (s), explicando cada termo e os tipos de interação da radiação com a atmosfera, desconsiderando mudança de comprimento de onda.

Explique porque a correção dos efeitos atmosféricos para estudos com água produz resultados mais acurados através da solução da equação da transferência radiativa do que com o uso de modelos empíricos de correção atmosférica.

- B) Liste as classes de modelos de aerossóis que podem ser utilizados nos modelos de transferência radiativa, descrevendo as situações em que cada um pode ser utilizado.

B₁ Quais os parâmetros da atmosfera e do sensor são necessários para a correção atmosférica e como estes podem ser obtidos? Em que condição de resolução espectral é possível corrigir para o espalhamento de cristais de gelo (cirros) e como essa correção pode ser realizada?

- C) Descreva como pode ser estimada a radiância devido a *sky glint* para uma imagem de satélite de média resolução espacial (por exemplo, Landsat e Sentinel-2) obtida sobre águas interiores.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

QUESTÃO 5

Você representa o INPE na equipe encarregada do projeto de monitoramento de cianobactérias em reservatórios e lagos do estado de São Paulo.

A sua função consiste em planejar a coleta e a análise de dados de campo objetivando:

1. a caracterização das propriedades bio-ópticas e biogeoquímicas em três condições aquáticas distintas: ausência de floração de cianobactérias, início de floração de cianobactérias e pico de floração de cianobactérias; e
2. a avaliação dos dados de reflectância do satélite da NASA Plankton, Aerosol, Cloud, ocean Ecosystem (PACE) para o monitoramento de cianobactérias. Estes dados vão permitir estabelecer a relação entre os constituintes aquáticos e a reflectância do PACE.

Com base no texto acima, responda aos itens a seguir.

- A) Detalhe os tipos de dados de campo a serem coletados e os métodos empregados para essa coleta, abrangendo os procedimentos para adquirir dados referentes aos constituintes ópticos da água e as propriedades ópticas inerentes e aparentes da água, essenciais para a caracterização da reflectância do PACE.
- B) Discuta como os dados coletados em campo serão processados em laboratório, listando os métodos necessários para extrair os diferentes parâmetros essenciais para a caracterização dos constituintes ópticos da água e das propriedades ópticas inerentes das três condições aquáticas.
- C) Detalhe como os dados coletados em campo de propriedade óptica aparente serão usados para obter a reflectância da água e quais as correções necessárias na reflectância da água para uso na avaliação dos dados de reflectância do PACE.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

Realização

