



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL – INPE

SENSORIAMENTO REMOTO DA ATMOSFERA (PQ016)



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

O sensor *Advanced Baseline Imager* (ABI) a bordo do satélite Geoestacionário da NOAA GOES-16, possui 16 canais espectrais, sendo 10 na faixa do infravermelho termal (IR). Alguns destes canais foram “herdados” do sondador da geração antecessora, e outros de sensores multiespectrais a bordo de satélites de órbita baixa, como o *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), usado para analisar propriedades de topos de nuvens, aerossóis, dentre outras aplicações.

Em relação aos canais do sensor ABI/GOES-16, responda aos itens a seguir.

- A) Assumindo o espalhamento atmosférico nulo, para uma condição de céu claro, a seguinte Equação de Transferência Radiativa (ETR) pode ser usada para expressar a radiância emergente (I) no topo da atmosfera, medida pelo sensor ABI, nos canais (λ) do infravermelho termal (IR):

$$I_{\lambda} = \varepsilon_{s\lambda} B_{\lambda}(T(p_s)) \tau_{\lambda}(p_s) + \int_{p_s}^0 B_{\lambda}(T(p)) \left[\frac{d\tau_{\lambda}(p)}{dp} \right] dp + [1 - \varepsilon_{s\lambda}] \int_0^{p_s} B_{\lambda}(T(p)) d\tau_{\lambda}^*$$

Sendo que: $\tau_{\lambda}^* = \tau_{\lambda}(p_s)^2 / \tau$

Defina todos os termos da equação, e cite os principais canais ABI que são necessários para derivar os perfis de temperatura e umidade a partir desta ETR (ao menos 7 canais), justificando a escolha de cada um.

- B) Além dos perfis de temperatura e umidade, alguns canais ABI na faixa do IR, são utilizados para analisar topos de nuvens. Considere o produto de diferença tri-espectral que utiliza a seguinte formulação, com a temperatura de brilho (TB) do topo da atmosfera, para cada canal espectral citado (8,5, 11,2 e 12,3 μm):

$$[TB_{(8,5 \mu\text{m})} - TB_{(11,2 \mu\text{m})}] - [TB_{(11,2 \mu\text{m})} - TB_{(12,3 \mu\text{m})}]$$

Explique como esse produto pode ser usado para identificar propriedades microfísicas de topos de nuvens, citando as propriedades radiativas e os processos envolvidos na identificação. Por fim, cite uma aplicação prática deste produto.

- C) Neste mesmo intervalo espectral (8,5 – 12,3 μm) dois tipos de aerossóis possuem propriedades radiativas similares que permitem a sua identificação, por exemplo, com o seguinte produto de diferença da temperatura de brilho (TB) do topo da atmosfera, entre os canais 10,3 e 12,3 μm :

$$[TB_{(12,3 \mu\text{m})} - TB_{(10,3 \mu\text{m})}]$$

Quais são esses aerossóis e qual(is) a(s) propriedade(s) radiativa(s) que permite(m) a sua identificação com o produto acima?

- 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 Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é um parâmetro físico que pode ser estimada por meio de sensores orbitais com diversas resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais, com a correção dos efeitos atmosféricos. Essas estimativas podem ser realizadas por meio de radiômetros que operam na faixa do infravermelho termal (IVT) ou sensores passivos de micro-ondas. Ressalta-se que a maioria dos algoritmos operacionais desenvolvidos para a estimativa da TSM, no IVT, via AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) ou VIIRS (*Visible Infrared Imager Radiometer Suite*), possuem a forma das equações 1 e 2.

$$TSM = a_0 + a_1 T_{B11} + a_2 T_{B3,7} + a_3 T_{B12} + a_4 \Delta T_{3,7-12} (\sec \theta - 1) + a_5 (\sec \theta - 1) \quad (1)$$

$$TSM = b_0 + b_1 T_{B11} + b_2 \Delta T_{11-12} (T_5^0 - 273,15) + b_3 \Delta T_{11-12} (\sec \theta - 1) \quad (2)$$

Sobre o sensor AVHRR, que voa a bordo dos satélites meteorológicos da série NOAA, responda aos itens a seguir.

- A) Qual o tipo de órbita dos satélites NOAA que levam a bordo o sensor AVHRR?
- B) Defina o significado dos termos $T_{B3,7}$; T_{B11} ; T_{B12} e $\sec \theta$, nas equações (1) e (2).
- C) Explique o significado físico de T_B .
- D) Indique, considerando as equações (1) e (2), qual é a mais adequada para a estimativa da TSM durante o dia? E durante a noite? Justifique sua resposta.
- E) Apresente a principal vantagem e as desvantagens em se utilizar o espectro de micro-ondas, em relação ao do IVT, para estimar a TSM.

- 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

A rede de satélites GOES da NOAA / EUA, inaugurada em 1975, marcou uma nova era no sensoriamento remoto da atmosfera para fins meteorológicos. Atualmente, existem 3 satélites da série GOES em operação: GOES-16, GOES-17 e GOES-18. O satélite GOES-U, quarto e último da série, será lançado agora em 2024. Todos eles carregam diversos instrumentos para sensoriamento remoto da atmosfera, superfície da Terra e do clima espacial.

A) Descreva as principais características do satélite GOES-16 e do sensor ABI (*Advanced Baseline Imager*). Das 16 (dezesesseis) bandas espectrais listadas na tabela abaixo, escolha apenas 3 (três), identifique-as e discorra sobre as principais informações que podem ser obtidas a partir delas.

Banda	Comprimento de Onda Central (μm)
1	0,47
2	0,64
3	0,86
4	1,37
5	1,61
6	2,24
7	3,90
8	6,20
9	6,90
10	7,30
11	8,50
12	9,60
13	10,30
14	11,20
15	12,30
16	13,30

B) Uma das grandes promessas do GOES-16 (primeiro satélite da série) seria a capacidade de detectar raios em quase tempo real, com alta resolução espaço-temporal, possibilitando o rastreamento e previsão de eventos atmosféricos severos.

B₁ Descreva o instrumento a bordo do GOES-16 responsável pelo monitoramento de raios. Existe um comportamento específico da atividade de raios que caracteriza a ocorrência de tempestades severas.

B₂ Descreva esse comportamento e como os dados do GOES-16 podem ser usados no monitoramento e rastreamento de eventos de tempo severo.

- 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

Os diferentes tipos de espalhamento ocorrem em função das características dos elementos presentes na atmosfera e podem influenciar a representação dos alvos quando observados pelos sensores imageadores.

Suponha um sensor que registra imagens segundo as bandas espectrais 0,45—0,51, 0,53—0,59 e 1,56—1,65 μm , denominadas aqui por 1, 2 e 3, respectivamente.

Após o uso deste sensor, foram observados os seguintes casos:

Caso I: O espalhamento atmosférico influenciou de forma distinta as imagens registradas nas bandas 1 e 2, mas não influenciou a imagem registrada na banda 3.

Caso II: O espalhamento atmosférico influenciou de modo similar o conteúdo das imagens registradas nas bandas 1 e 2, bem como influenciou com menor intensidade o conteúdo da imagem registrada na banda 3.

Considerando as situações reportadas:

- A) Identifique o tipo de espalhamento que melhor justifica cada um dos casos e aponte elementos presentes na atmosfera que induzem a ocorrência deste fenômeno.**
- B) Qual das imagens registradas no Caso I deve ter sofrido maior influência do espalhamento atmosférico? Justifique sua resposta.**
- C) Indique, de forma aproximada, intervalos de altitude em que geralmente ocorrem os tipos de espalhamento observados nos casos I e II.**

- 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

A estimativa de precipitação por satélite é parte fundamental da cadeia global de observação, pois supre deficiências das tradicionais redes pluviométricas e sistemas observacionais complementares compostos por disdrômetros e radares meteorológicos de superfície.

- A) Sobre os sistemas sensores e as órbitas para estimativa de precipitação por satélite, responda aos itens a seguir.
- A₁ **Descreva as três grandes classes nas quais podem ser divididos os sensores para estimativa de precipitação por satélite e suas respectivas órbitas.**
- A₂ **Qual é o papel dos dados satelitais na cadeia global de medidas de precipitação?**
- B) A Missão Global para medida de Precipitação (GPM), mantida pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dos Estados Unidos e *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) do Japão, opera uma constelação de satélites que combina técnicas de sensoriamento remoto passivo e ativo. Seu satélite de observação principal, serve como padrão de calibração para os outros satélites membros da missão e possui dois instrumentos: um imageador de micro-ondas com 13 canais variando de 10,65 a 183.3 GHz e um RADAR de dupla frequência nas bandas Ku e Ka.
- B₁ As frequências de micro-ondas passivas utilizadas pelo GPM estão no quadro a seguir.

Frequências	Polarização	Categorias
10,6 GHz	Vertical	
10,6 GHz	Horizontal	
18,7 GHz	Vertical	
18,7 GHz	Horizontal	
23,7 GHz	Vertical	
37 GHz	Vertical	
37 GHz	Horizontal	
89 GHz	Vertical	
89 GHz	Horizontal	
166 GHz	Vertical	
166 GHz	Horizontal	
183,3 GHz	Vertical	
183±7 GHz	Vertical	

Indique:

- i) as frequências para detecção de chuvas fortes e moderadas.
- ii) as frequências para detecção de precipitação mista (chuva, neve e gelo) dentro das nuvens.
- iii) as frequências para detecção de vapor de água e precipitação de neve.
- B₂ Indique duas frequências de micro-ondas passiva tipicamente utilizadas para detecção de granizo.
- C) Estimativa de precipitação por RADAR (GPM)
- C₁ Como a utilização do RADAR de dupla frequência Ku e Ka permite a distinção entre hidrometeoros e suas fases (líquida ou sólida), mesmo este não possuindo dupla polarização?
- C₂ Qual a principal vantagem deste tipo de equipamento?

- 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

