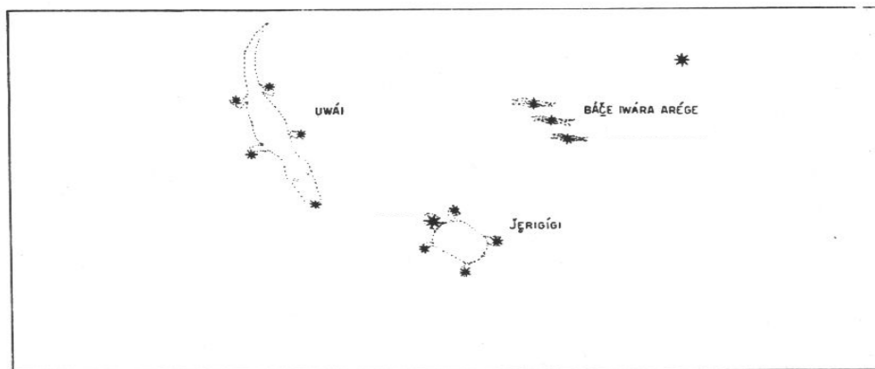


Instruções Gerais

1. Identifique seu ID em **TODAS** as folhas de respostas. Não coloque mais nenhum meio de identificação pessoal;
2. A duração da prova é de 2 horas;
3. O uso de calculadoras é permitido, desde que não sejam programáveis/gráficas;
4. Não é permitido o uso de celulares ou similares, nem calculadoras de celulares;
5. Quando necessário, responda e justifique nas folhas em branco ou faça marcações nas cartas. Ao final da prova, devolva as folhas de resposta e as cartas utilizadas.
6. As marcações na carta podem ser feitas a grafite. Para evitar rasuras, prefira o grafite à tinta.
7. Quando solicitada a identificação de um elemento, escreva o nome dele em letra de tamanho legível, próximo à marcação, deixando claro qual nome se refere a qual elemento
8. Se não for explicitado o contrário assuma que as cartas estão em projeção azimutal equi-distante, na qual a borda da carta representa o horizonte, e a distância zenital de um ponto é diretamente proporcional à distância entre sua representação e o centro da carta.
9. Ao final da prova, devolva o caderno de respostas.

Questões

1. **Astronomia Bororó (Classe C2 - 12 pontos)** Os povos Bororó são habitantes originários do pantanal mato-grossense. Sua rica cosmologia enxerga no céu um registro de seres e objetos que compõem sua realidade cotidiana e espiritual. Muitas dessas figuras compartilham estrelas com as constelações ocidentais, servindo como uma ponte entre diferentes saberes sobre o mesmo universo. O desenho a seguir representa um recorte do céu, onde três de suas constelações são destacadas: *Uwái* (o Jacaré), *Jerigígi* (o Cágado) e *Báçe Iwára Arége* (a Vareta Branca).



Com base nas informações e em seus conhecimentos, marque a alternativa correta:

- (a) O jacaré é a constelação que conhecemos como cefeu.
- (b) A Eclíptica passa pela Vareta Branca.
- (c) Spica atua como a cabeça do cágado, e seu casco é o quadrilátero do corvo.
- (d) A estrela solitária tem ascensão reta entre 16 e 22h.
- (e) O jacaré é uma constelação polar.
- (f) O corpo do cágado é o asterismo conhecido como “falsa cruz”.
- (g) As estrelas da Vareta Branca têm declinação menor do que 10° , em módulo.
- (h) Prolongando a Vareta Branca, encontramos o Polo Sul Celeste.

Solução:

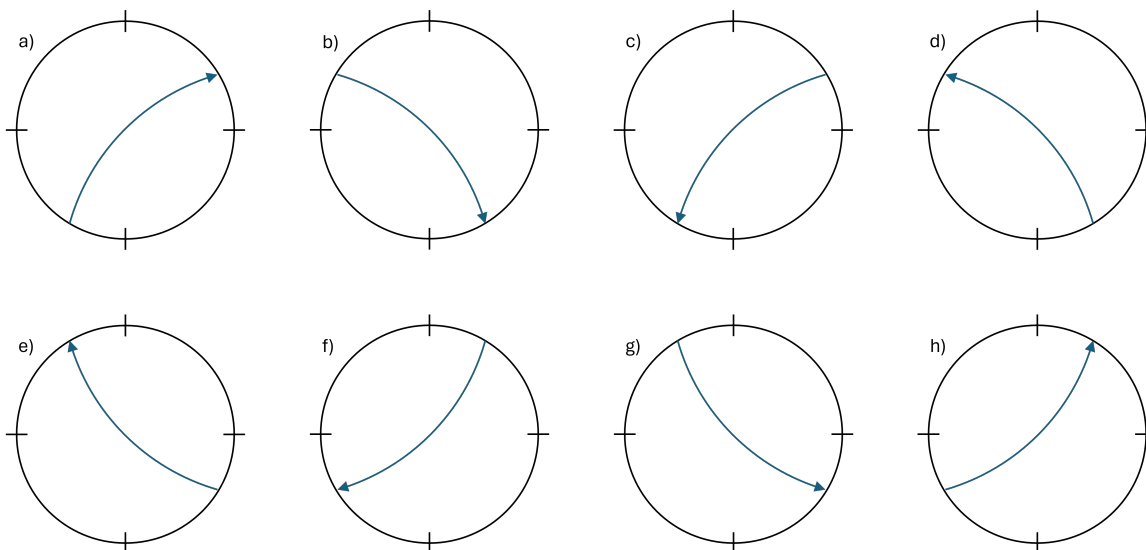
A chave para resolver esta questão é a identificação do asterismo central: a Vareta Branca (*Báçe Iwára Arége*), que corresponde ao famoso Cinturão de Órion (as Três Marias). A partir dessa âncora visual, podemos situar todo o resto do céu Bororó.

- (a) Incorreta. Cefeu é uma constelação do hemisfério norte, próxima ao polo norte celeste. O Jacaré está adjacente a Órion, uma região equatorial.
- (b) Incorreta. A linha que atravessa o Cinturão de Órion é o Equador Celeste, não a Eclíptica. A Eclíptica passa "acima" de Órion, pela constelação de Touro.
- (c) Incorreta. Pela imagem, a cabeça do Cágado pode ser identificada como Rigel (β Ori) ou Betelgeuse (α -Ori), no caso Rigel, enquanto seu casco é formado por estrelas nas adjacências (como Lepus), não pelo Corvo, que está em outra região do céu.

- (d) Incorreta. Órion está próximo (um pouco à oeste) do Solstício de Inverno do Hemisfério Sul, ou seja, possui Ascensão Reta (AR) um pouco inferior a 6^h . A faixa de 16^h a 22^h abriga constelações como Escorpião e Sagitário, que estão no lado oposto do céu, no Solstício de Verão do Hemisfério Sul.
- (e) Incorreta. Por estar próximo ao Equador Celeste, o Jacaré não pode ser uma constelação polar.
- (f) Incorreta. A "Falsa Cruz" é um asterismo formado por estrelas das constelações de Vela e Carina, muito mais ao sul do que a região de Órion retratada.
- (g) Verdadeira. A Vareta Branca (Cinturão de Órion) está quase exatamente sobre o Equador Celeste. As três estrelas (Alnitak, Alnilam e Mintaka) possuem declinações baixíssimas, todas contidas na faixa de $\pm 2^\circ$, o que é consistentemente menor que 10° em módulo.
- (h) Incorreta. O alinhamento das Três Marias não aponta para o Polo Sul Celeste. O método de prolongar o eixo maior para encontrar o polo é uma característica famosa do Cruzeiro do Sul.

Resposta: alternativa g.

2. De olho no céu (Classe C2 - 14 pontos) O fenômeno da astronomia, Halland, é famoso por sua precisão implacável ao mirar telescópios. Em uma noite gélida em sua terra natal (latitude $\varphi = +61^\circ 32'$), ele decide testar a ótica de um telescópio Kepleriano clássico. Seu alvo é a magnífica estrela La Soberba (γ -CVn, declinação $\delta = +38^\circ 18'$ e ascensão reta $\alpha = 11^h 50^m$). Às $2^h 50^m$ de tempo sideral local, Halland fixa o olho na ocular, mantendo a cabeça perfeitamente na vertical. Das opções abaixo, exageradas para melhor visualização, qual representa a trajetória aparente da estrela pelo campo de visão através das lentes?



Solução:

Vamos representar o céu como é visto por esse astrônomo, destacando a estrela de interesse. Antes disso, é necessário observar que seu ângulo horário é

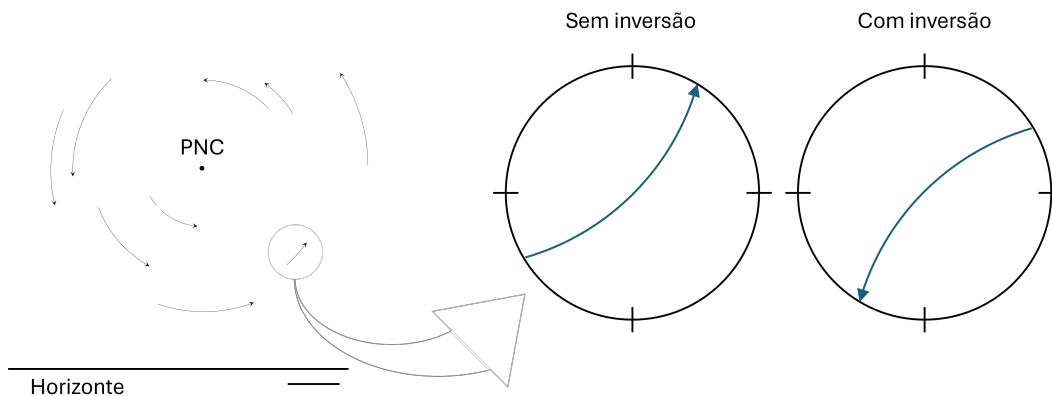
$$H = TSL - \alpha = 2^h50^m - 11^h50^m$$

$$\Rightarrow H = -9^h$$

Para ajustar a volta, podemos somar 24^h :

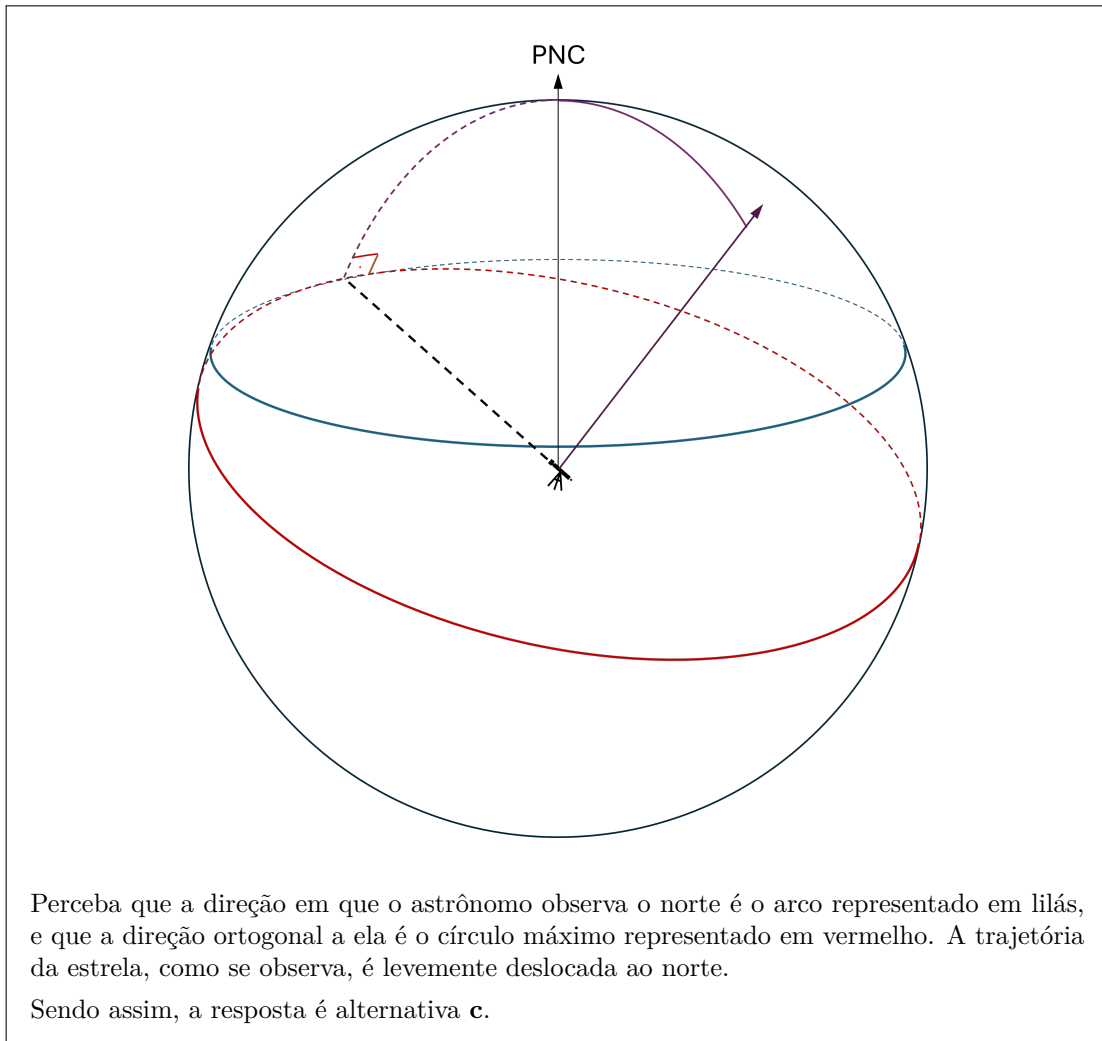
$$H = 15^h$$

amos tomar o cuidado de representá-la com seu ângulo horário corretamente. Para isso, colocamos nosso polegar esquerdo apontado para o PNC (furando a tela ou o papel), com as falanges na direção do zênite (no desenho, elas estarão para cima). Percorremos o ângulo de 15^h , ou 225° no sentido em que os dedos da mão esquerda giram.



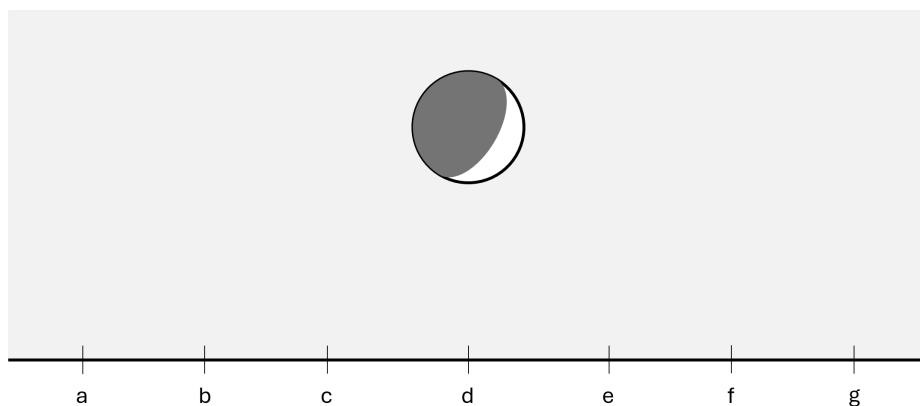
Perceba, como está retratado, que devemos considerar a inversão da imagem, por se tratar de um telescópio kepleriano.

Adicionalmente, podemos entender por que existe uma pequena curvatura (exagerada nas imagens) entre o diâmetro do telescópio e a trajetória da estrela. Observe a figura abaixo, na qual o telescópio aponta para o paralelo no qual a estrela se encontra.



O texto a seguir refere-se às três próximas questões.

É equinócio, a Lua está próxima ao Equador, e um observador no hemisfério sul a enxerga como no esquema abaixo.



3. **Lua - Parte 1 (Classe C2 - 8 pontos)** Uma das marcações da imagem corresponde a um ponto cardinal visível. Assinale a alternativa correspondente na folha de respostas.

4. **Lua - Parte 2 (Classe C2 - 8 pontos)** Qual o ponto cardinal visível na figura?

- (a) Noroeste (b) Norte (c) Nordeste
 (d) Oeste (e) Leste
 (f) Sudoeste (g) Sul (h) Sudeste

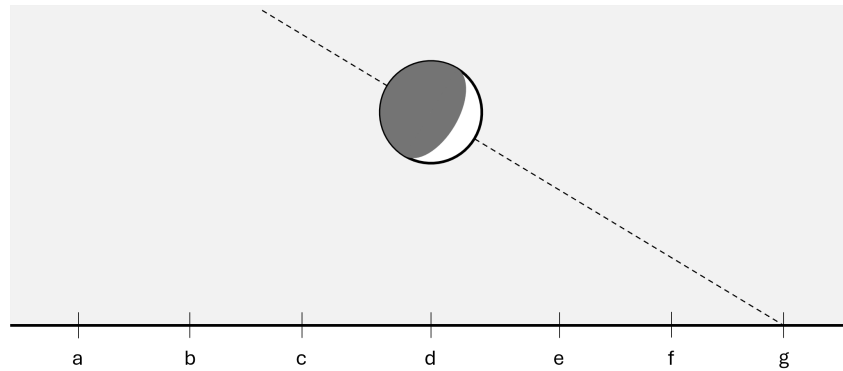
5. **Lua - Parte 3 (Classe C2 - 8 pontos)** Qual a latitude do observador?

- a) $\approx 0^\circ$ b) -15° c) -30° d) -45°
 e) -60° f) -75° g) -90° h) Impossível dizer

Solução:

(Q3) Para resolver este problema, precisamos lembrar de que a face iluminada da Lua sempre aponta para o Sol, que é sua fonte de iluminação. Como o enunciado afirma que estamos no Equinócio e a Lua tem declinação baixa, ambos (Sol e Lua) estão posicionados praticamente sobre o Equador Celeste.

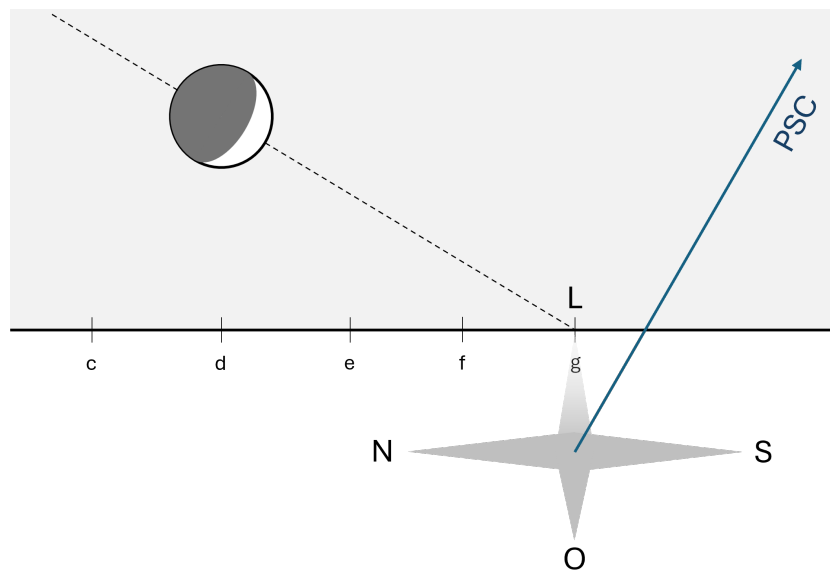
Portanto, se traçarmos uma linha imaginária cortando a Lua ao meio e perpendicular às pontas do crescente, essa linha representa a projeção do próprio Equador Celeste no céu.



Sabemos que o Equador intercepta o horizonte exatamente em um ponto cardinal (que pode ser leste ou oeste), e isso ocorre na marcação **g**.

Resposta: alternativa **g**

(Q4) Já sabemos que **g** é Leste ou Oeste. Para decidir, lembramos que, no Hemisfério Sul, o Polo Celeste Sul (PCS) está elevado acima do horizonte Sul. O Equador Celeste, perpendicular ao polo, inclina-se para o Norte. Assim, podemos construir a rosa dos ventos sobre o horizonte da questão.



Resposta: alternativa **e** (Leste).

(Q5) A inclinação do Equador Celeste em relação ao horizonte é dada pelo complemento da latitude ($90^\circ - |\phi|$).

Podemos estimar o ângulo que o Equador faz com o horizonte por meio da figura, aproximadamente 30° .

Assim:

$$90^\circ - |\phi| = 30^\circ$$

$$|\phi| = 60^\circ$$

Como estamos no hemisfério sul, a latitude é -60° .

Resposta: alternativa e

6. O Grande Diamante (44 pontos) Na mitologia tradicional do TSA, Midori foi uma viajante que velejou por nebulosas e nuvens de poeira em busca dos tesouros do cosmos. Certa vez, ela atracou em uma ilha isolada, onde desceu de seu barco, deixou para trás a coleção de aglomerados em seu convés, e saiu em busca de um lendário diamante incrustado de galáxias. Ela o desenterrou, e tentou erguê-lo, mas ele era tão pesado que ela nunca conseguiu movê-lo do lugar. Assim surgiria o barco, para sempre atracado num rio de estrelas, e surgiria a virgem, eternamente erguendo um grande diamante.

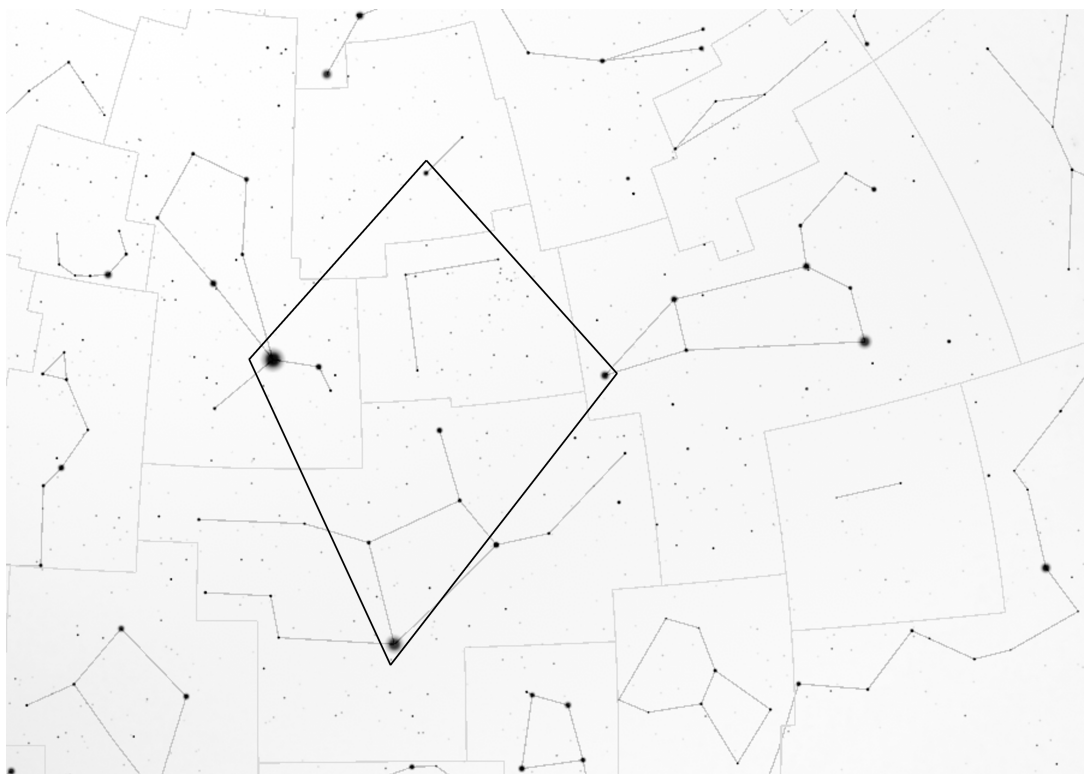
Na folha em anexo, bem como no caderno de respostas, você encontra duas cartas celestes: uma representa o barco, a outra, o grande diamante. As cartas estão em escala, e cada 31,6 graus quadrados no céu representam um cm^2 na carta. No caderno de respostas, apenas as estrelas são representadas; na folha em anexo, representam-se apenas os DSO's. Os quadrados representam aglomerados estelares, e os triângulos, galáxias, até uma magnitude limite de 12 mag (tanto para aglomerados quanto para galáxias). Utilizando-se das cartas fornecidas e de seus conhecimentos, responda ao que se pede.

- 6.1 (4 pontos) Identifique cada uma das estrelas (A, B, C, D, identificadas no caderno de respostas) que compõem o grande diamante, indicando seus nomes oficiais ou suas designações Bayer.
- 6.2 (5 pontos) Identifique todas as constelações dentro (inclusive as que estão apenas parcialmente dentro) do grande diamante.

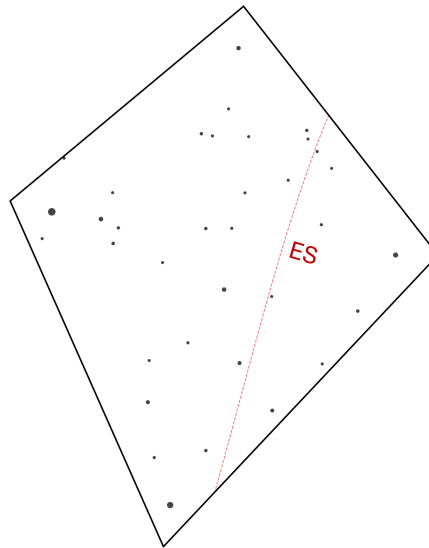
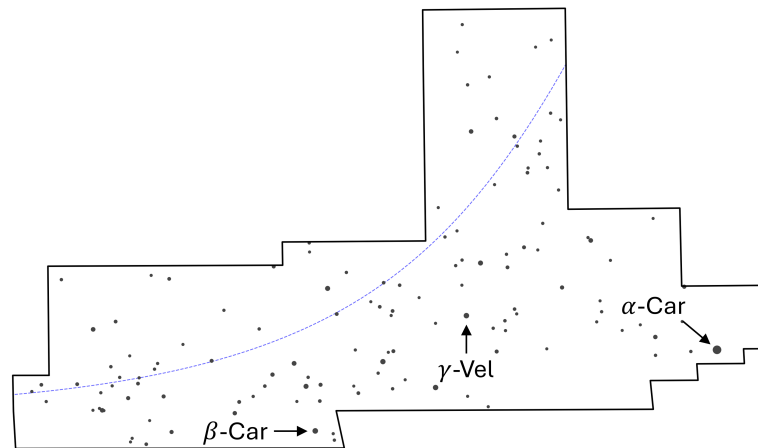
- 6.3 (3 pontos) Na carta presente na folha de respostas, aponte uma seta para Canopus (α -Car), Miaplacidus (β -Car) e Regor (γ -Vel), identificando cada estrela de forma clara.
- 6.4 (8 pontos) Nas cartas presentes na folha de respostas, trace o Equador Galáctico (identifique-o por EG) e o Equador Super-galáctico (identifique-o por ES). Escolha a carta mais adequada para cada traçado.
- 6.5 (8 pontos) Em todas as cartas, a magnitude limite para estrelas é $m = 5$. Estime, para cada uma delas, a densidade superficial média de estrelas brilhantes, em quantidade de estrelas por grau quadrado (considere brilhante as estrelas de magnitude $m \leq 5$). Sua estimativa pode ter um erro de até 10%.
- 6.6 (16 pontos) Explique por que as regiões apresentam tanta diferença na densidade superficial de estrelas brilhantes, bem como no tipo e na quantidade de DSO's presentes.

Solução:

A imagem abaixo retrata a virgem “erguendo” o grande diamante:



1. As estrelas A, B, C e D são, respectivamente, Cor Caroli (α -CVn), Denébola (β -Leo), Spica (α -Vir) e Arcturus (α -Boo)
2. As constelações dentro do grande diamante são a Virgem (Vir), o Boieiro (Boo), os Cães de Caça (CVn), o Leão (Leo) e a Cabelleira de Berenice (Com). Por estar consideravelmente próxima, é aceitável citar a Ursa Maior (UMa), embora não obrigatório.
- 3,4. As marcações dos dois próximos itens estão a seguir:



5. Podemos medir as áreas das figuras por muitos modos, utilizando apenas régua. Se tivermos acesso a um esquadro ou transferidor, a medição é facilitada. A área do barco pode ser estimada, por exemplo, dividindo a região em diversos retângulos, desconsiderando os pequenos trechos inclinados (caem na tolerância de 10%). Já a área do losângulo pode ser obtida dividindo-se a região em dois triângulos, e aplicando base vezes altura sobre dois, ou até mesmo Hieron.

A área do barco é de $52,8 \text{ cm}^2$, e a do grande diamante é de $40,5 \text{ cm}^2$. O resultado é 1667 graus quadrados para o barco e 1280 graus quadrados para o grande diamante.

Segundo a imagem (confira que figuras “limpas”, ou seja, sem marcações de DSO ou rótulos, foram fornecidas na folha de questões), são 35 estrelas no grande diamante e 128 no barco, ou seja, as densidades são 0,020 e 0,077 estrelas por grau quadrado, para o grande diamante e para o barco, respectivamente.

6. A presença de estrelas mais brilhantes na região do barco é devido à sua proximidade ao Equador Galáctico. Essa região concentra a formação estelar, o que aumenta a chance de estrelas próximas, portanto que se aparentam mais brilhantes. Similarmente, a maioria dos aglomerados estelares se concentra nessa região, que é onde existem os grandes berçários estelares (regiões HII).

Já o grande diamante está perpendicular à Via Láctea, próximo ao polo norte galáctico. Por causa disso, a concentração de estrelas é naturalmente menor, bem como a extinção por poeira, permitindo a visualização de galáxias. Ainda, essa janela é alinhada ao Equador Super-galáctico, onde há maior concentração de galáxias dentro do Super-aglomerado de Virgem.

Grade de Correção	
<p>Item 1</p> <ul style="list-style-type: none"> + 1 Identificação correta da estrela A. + 1 Identificação correta da estrela B. + 1 Identificação correta da estrela C. + 1 Identificação correta da estrela D. 	4 pontos
<p>Item 2</p> <ul style="list-style-type: none"> + 1 Identificação de Virgem. + 1 Identificação de Leão. + 1 Identificação dos Cães de Caça. + 1 Identificação do Boieiro. + 1 Identificação da Cabeleira de Berenice. - 1 Para cada constelação erroneamente identificada, à exceção da Ursa Maior. 	5 pontos
<p>Item 3</p> <ul style="list-style-type: none"> + 1 Apontamento correto de Canopus. + 1 Apontamento correto de Miaplacidus. + 1 Apontamento correto de Regor. 	3 pontos
<p>Item 4</p> <ul style="list-style-type: none"> + 4 Traçado do Equador Galáctico no barco, passando aproximadamente pelos aglomerados estelares. Desconto de metade dos pontos se passar duas vezes pela mesma ascensão reta. + 4 Traçado do Equador Super-galáctico no grande diamante, passando aproximadamente pelas galáxias. Desconto de metade dos pontos se passar duas vezes pela mesma ascensão reta. 	8 pontos
<p>Item 5</p> <ul style="list-style-type: none"> + 4 Estimativa para o barco entre 0,70 e 0,84. + 4 Estimativa para o grande diamante entre 0,018 e 0,022. 	8 pontos
<p>Item 6</p> <ul style="list-style-type: none"> + 5 Maior concentração de estrelas brilhantes associada à Via Láctea. + 5 Maior concentração de aglomerados estelares associada à Via Láctea. + 6 Maior visibilidade de galáxias associada à redução da poeira, ou maior concentração de galáxias associada ao Super-aglomerado de Virgem. 	16 pontos

- 7. SOS (Classe C3 - 56 pontos)** Durante suas férias, Eduardo, do Instituto de Trans-Atlântico (ITA), e Hugo, da Universidade do Sextante e Prumo (USP), saíram em uma expedição marítima ousada, munidos apenas de uma bússola, um sextante, um almanaque e um rádio amador.

No meio do oceano, começou uma discussão acalorada sobre qual escola era melhor. Eles se distraíram, o barco virou, os equipamentos afundaram, e nossa dupla acordou com amnésia em uma ilha desconhecida.

Poucas coisas sobreviveram ao desastre. Entre elas, uma folha de efemérides planetárias do almanaque. Nela, constam as coordenadas equatoriais (Ascensão Reta, ARs, e Declinação, Dec)

de quatro planetas, bem como de algumas estrelas guias. No verso, está uma carta celeste desenhada pouco antes da tragédia, no momento em que o rádio do barco, antes de pifar, anunciava o Tempo Sideral de Greenwich: 10^h00^m .

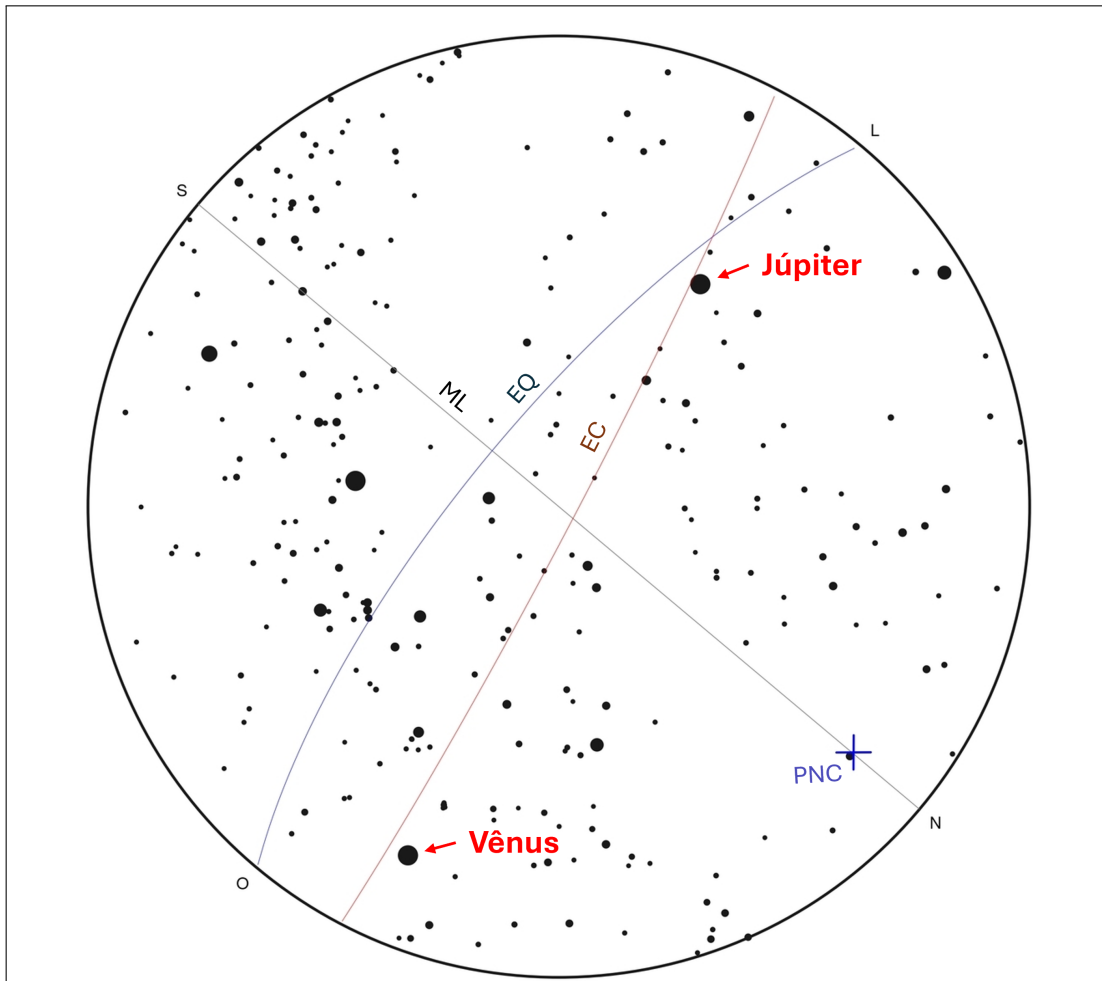
Infelizmente, as informações de data foram muito comprometidas, mas podemos supor que o dia do naufrágio está dentro do intervalo da tabela. Afinal, Eduardo não levaria um almanaque referente à outra época senão a que ele navegava (nós torcemos).

Sem poder contar com Hugo, ou com Eduardo, cabe a você descobrir o local e a época do ano no qual eles se encontram!

- 7.1 (10 ponto) A orientação básica é o primeiro passo de qualquer navegação. Para começar, utilize a cópia da carta celeste na folha de respostas para traçar as seguintes marcações:
- O Meridiano Local, e identifique-o por ML;
 - O Equador, e identifique-o por EQ;
 - A Eclíptica, e identifique-a por EC;
 - O polo celeste visível por um X, e identifique-o (PNC ou PSC);
 - Os pontos cardeais na borda da carta, e identifique-os (N, S, L, O);
- 7.2 (20 pontos) Aponte os planetas visíveis com setas, identificando-os com seus nomes. Justifique como cada planeta pôde ser distinguido de forma inequívoca; respostas sem justificativa não serão pontuadas.
- 7.3 (12 pontos) Complete a tabela na folha de respostas, identificando a constelação em que cada planeta se encontra.
- 7.4 (8 pontos) Estime o mês do ano no qual a observação ocorre. Justifique sua estimativa.
- 7.5 (6 pontos) Determine a latitude e a longitude do sítio de observação.

Solução:

1. As marcações esperadas são mostradas na carta a seguir, que também representa as marcações do item seguinte.



2. Para encontrar planetas na carta, precisamos procurar por pontos brilhantes, próximos à Eclíptica, mas que não pertencem à configuração das estrelas fixas. Dois planetas são notórios na carta, e precisamos identificá-los. Vamos fazer isso pela ascensão reta, já que é o dado que temos em maior abundância.

Muitas são as formas de estimar a ascensão reta de um corpo. A mais simples parece ser com as estrelas guias fornecidas. Percebemos que um dos planetas está entre Hamal (α -Ari) e Aldebaran (α -Tau), ou seja, sua ascensão reta está entre 32° e 69° , de acordo com a tabela do almanaque.

Três planetas (Vênus, Marte e Saturno) atingem essa ascensão reta no período considerado. Saturno, além de não ser tão brilhante, só atinge essa ascensão reta quando Marte está entre 42° e 134° , o que o tornaria visível na carta. Como não encontramos nenhum planeta nessa faixa, não pode ser Saturno. Uma lógica similar poderia ser aplicada argumentando que Vênus estaria igualmente visível, ou que, pela posição de Vênus, até o Sol estaria visível.

Quando Marte atinge a faixa entre 32° e 69° de ascensão reta, Vênus está entre 61° e 76° , próximo a Aldebaran. Como nenhum outro planeta é visível no intervalo, não pode ser Marte.

Resta, então, ser Vênus, que atinge essa faixa quando ambos, Marte e Saturno, estão confortavelmente abaixo do horizonte, com ascensões retas por volta de 0° e 25° .

O outro planeta identificado está próximo à Denébola (ascensão reta de 177°), o que é próximo à ascensão reta de Júpiter em todo o intervalo.

3. As constelações de Vênus e Júpiter podem ser identificadas diretamente pela carta: Vênus está em Áries e Júpiter está em Leão. Quanto a Marte e Saturno, sabemos que estão sobre a Eclíptica (afinal, são planetas), e pudemos estimar suas ascensões retas na faixa entre 0° e 30° , portanto estão em Peixes.

Planeta	Constelação	Planeta	Constelação
Vênus	Áries	Marte	Peixes
Júpiter	Leão	Saturno	Peixes

4. Como Vênus está visível no horizonte oeste, o Sol não pode ter se posto há muito tempo. Ou seja, ele está em peixes (Áries está quase inteira visível e, se o Sol estivesse em Áries, a luz do crepúsculo ofuscaria o céu; já Aquário está muito longe de Vênus). Nossa estimativa, portanto, é por volta de março ou abril. A título de curiosidade, essa carta corresponde a 22 de março de 2028.
5. Podemos medir a distância zenital do polo visível utilizando uma régua, e então fazer proporção simples (regra de 3), sabendo que o raio da carta corresponde a 90° :

$$z_{PNC} = 90^\circ \cdot \frac{r}{R} = 73^\circ$$

A latitude é a altura do polo elevado:

$$\phi = 90^\circ - z_{PNC} \Rightarrow \boxed{\phi = 17^\circ N}$$

Para encontrar a longitude, primeiramente estimamos o tempo sideral local. Percebemos que Pollux (β -Gem) e Avior (ε -Car) estão muito próximas da culminação superior ($H \approx 0^h$). Enquanto Pollux é mais simples de perceber, Avior fornece um resultado mais preciso. Segundo o almanaque, a ascensão reta de Avior é $\approx 125,5^\circ$, ou seja, $8^h 20^m$. O tempo sideral, portanto:

$$TSL = H + \alpha = 0^h + 8^h 20^m$$

Foi fornecido que $TSG = 10^h 00^m$. Como o tempo sideral local é $1^h 40^m$ menor, estamos $1^h 40^m$ a oeste.

$$\lambda = 25^\circ O$$

Apenas a título de curiosidade, a ilha em que Eduardo e Hugo naufragaram é a Ilha de Santa Luzia, pertencente ao arquipélago de Cabo Verde.

Grade de Correção

Item 1	10 pontos
<ul style="list-style-type: none"> + 1 Traçado correto do Meridiano Local. + 3 Traçado correto do Equador. + 3 Traçado correto da Eclíptica. + 2 Localização e identificações corretas do PNC. + 1 Apontamento correto dos pontos cardeais. 	
Item 2	20 pontos
<ul style="list-style-type: none"> + 2 Apontamento de Júpiter como um planeta. + 2 Identificação de Júpiter. + 2 Apontamento de Vênus como um planeta. + 2 Descartar Júpiter e Saturno como possibilidades. + 10 Descartar Marte como possibilidade. + 2 Conferir que Vênus é uma possibilidade. - 2 Se algum astro (seja planeta ou não), que esteja longe da Eclíptica marcada, for apontado como planeta (incoerência interna). - 1 Para cada estrela falsamente apontada como planeta, mesmo que já tenha recebido o desconto anterior. 	
Item 3	12 pontos
<ul style="list-style-type: none"> + 3 Constelação correta de Vênus. + 3 Constelação correta de Marte. + 3 Constelação correta de Júpiter. + 3 Constelação correta de Saturno. 	
Item 4	8 pontos
<ul style="list-style-type: none"> + 4 Estimativa adequada da posição do Sol ou equivalente. + 4 Estimativa do mês do ano (março ou abril). 	
Item 5	6 pontos
<ul style="list-style-type: none"> + 3 Medição da latitude. + 2 Estimativa do Tempo Sideral Local. + 1 Cálculo correto da longitude. 	