

Geometria do Planeta Terra

Guião para o aluno

I. O Urso

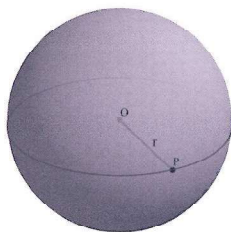
Um urso, partindo da sua toca, andou 10 Km para Sul. Depois, mudou de direção e caminhou 10 Km sempre em direção a Este. Em seguida, voltou a mudar de direção e andou 10 Km para Norte, chegando novamente à sua toca. Qual é a cor do urso?

Adaptado do livro *How to solve it*⁽¹⁾ do matemático G. Pólya.

Como podes verificar o percurso do urso não é possível no plano, ou seja, o urso não pode estar a caminhar numa superfície plana. E se ele estiver a caminhar numa superfície esférica como, por exemplo, a superfície terrestre?

II. Geometria Esférica

A esfera pode ser considerada um modelo (simplificado) do planeta Terra e existe uma geometria que se dedica ao seu estudo: a Geometria Esférica. Como superfície esférica de centro O e raio $r > 0$ consideraremos o conjunto de pontos do espaço que estão à distância r de O .



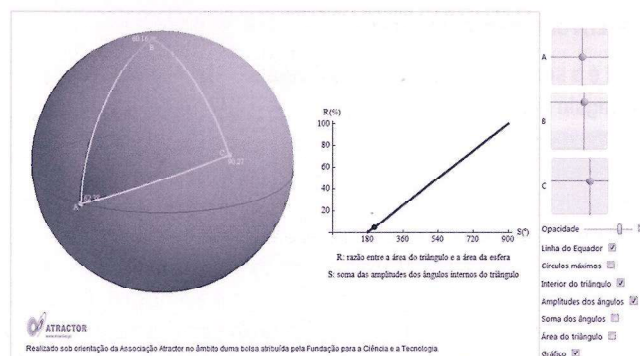
Superfície esférica de centro O e raio r .

O estudo da Geometria Esférica pode permitir a resolução de problemas ligados ao planeta Terra: por exemplo, na época dos Descobrimientos, era muito importante saber qual o caminho mais curto entre dois locais do planeta e qual a rota que se deveria seguir; mesmo atualmente, em que o sistema GPS é uma ferramenta poderosa, os pilotos de avião e os navegadores têm que ter conhecimentos sobre Geometria Esférica. No âmbito da iniciativa internacional *Matemática do Planeta Terra 2013*, propomos-te a realização de um conjunto de tarefas para iniciares o estudo da Geometria Esférica bem como para explorares algumas das diferenças (surpreendentes) entre esta geometria e a Geometria Euclidiana.

III. Tarefa

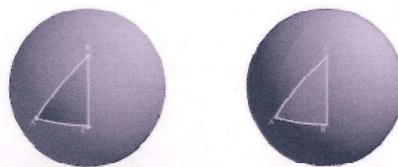
Qual é a soma das amplitudes dos ângulos internos de um triângulo esférico?

1. Abre o ficheiro *soma_dos_ângulos_de_um_triângulo.cdf*. Nesse ficheiro, encontras uma aplicação interativa que contém uma esfera de raio unitário com um triângulo esférico assinalado cujos vértices são pontos móveis: A , B e C .



Ficheiro em formato CDF disponível em
<http://www.atractor.pt/mat/GeomEsf/MateriaisEnsino>.

2. Clica na caixa *Interior do triângulo* e move os pontos através dos cursores A , B e C que estão à direita de forma a obteres diferentes triângulos.



Três pontos distintos na superfície esférica e três lados (arcos de círculo máximo) que definem dois triângulos, na medida em que definem duas regiões limitadas na superfície esférica. O triângulo $[HBL]$ que se está a considerar é o triângulo com interior mais escuro.

3. Escolhe uma posição para A , B e C e clica na caixa *Amplitude dos ângulos*. Qual é a soma das amplitudes dos ângulos internos desse triângulo esférico? Podes clicar na caixa *Soma dos ângulos* para confirmar.

4. Em Geometria Euclidiana, a soma das amplitudes dos ângulos internos de um triângulo qualquer é 180° . Será que a soma das amplitudes dos ângulos internos de um triângulo esférico também é constante? Move os pontos de modo a obteres triângulos esféricos diferentes e observa o valor da soma das amplitudes dos ângulos internos de cada um desses triângulos.

5. É possível ter um triângulo esférico com dois ângulos retos? E três ângulos retos? E três ângulos rasos?

6. Entre que valores varia a soma das amplitudes dos ângulos internos de um triângulo esférico?

7. Clica na caixa *Gráfico* e observa o gráfico da função que relaciona a soma das amplitudes dos ângulos internos de um triângulo e a sua área relativa (isto é, a razão entre a área do triângulo e a área da esfera). O que concluis?

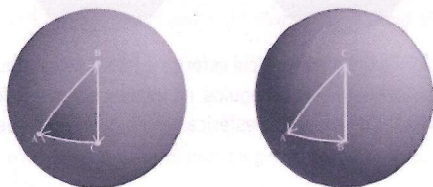
E agora, já sabes qual é a cor do urso? Para saberes mais vai a www.atractor.pt/mat/GeomEsf.

Desenvolvimento da tarefa

Qual é a soma das amplitudes dos ângulos internos de um triângulo esférico?

1. O ficheiro *soma_dos_ângulos_de_um_triângulo.cdf* contém uma aplicação interativa com uma esfera de raio unitário com um triângulo esférico assinalado cujos vértices são pontos móveis: A , B e C . O professor pode começar por observar que um lado do triângulo é dado pelo menor arco de círculo máximo definido por dois vértices do triângulo. Clicando na caixa *Círculos máximos* podem-se ver os três círculos máximos que contêm os lados do triângulo.

2. Se se clicar na caixa *Interior do triângulo* e se mover os pontos através dos cursores A , B e C que estão à direita obtêm-se diferentes triângulos esféricos. O professor deve referir que, ao contrário do que acontece na Geometria Euclidiana, três pontos distintos na superfície esférica e três lados (arcos de círculo máximo), definem dois triângulos diferentes, na medida em que definem duas regiões limitadas complementares na superfície esférica.

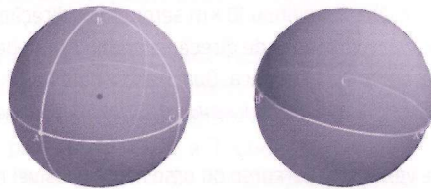


O triângulo (ABC) que se está a considerar é o triângulo com interior mais escuro definido da seguinte forma: estabelecendo o caminho orientado de A para B , de B para C e de C para A , consideramos a região que está sempre à direita do caminho.

3. Ao escolher uma posição para A , B e C e clicando na caixa *Amplitude dos ângulos*, o aluno deverá observar que a soma das amplitudes dos ângulos internos do triângulo é superior a 180° . O professor deverá salientar o facto deste resultado ser muito diferente do correspondente na Geometria Euclidiana.

4. Considerando diferentes triângulos esféricos, o aluno deverá concluir que a soma das amplitudes dos ângulos internos de um triângulo esférico é sempre maior do que 180° . O professor poderá referir que a diferença entre a soma das amplitudes dos ângulos internos de um triângulo esférico e a amplitude do ângulo raso é denominada por *excesso angular*. Em Geometria Euclidiana, o excesso angular de qualquer triângulo é zero e, em Geometria Esférica, é sempre superior a zero.

5. O aluno deverá mover os pontos A , B e C de modo a obter um triângulo esférico com dois ângulos retos, outro triângulo com três ângulos retos e outro triângulo com três ângulos rasos. O professor deverá referir que, no último caso, os pontos são «colineares».



À esquerda: triângulo (ABC) com três ângulos retos. À direita: triângulo (ABC) com três ângulos rasos cujos vértices são colineares.

6. O aluno deverá variar os pontos A , B e C de modo a considerar triângulos *pequenos* (contidos numa semiesfera) e triângulos *grandes* e observar que a soma das amplitudes dos ângulos internos é um valor entre 180° e 900° .

7. O aluno deverá observar que: quando a soma das amplitudes dos ângulos internos é um valor próximo de 180° , a área do triângulo é quase nula; quando a soma das amplitudes dos ângulos internos é um valor próximo de 900° , a área do triângulo é próxima da área da esfera. O professor deverá referir que a área do triângulo é diretamente proporcional ao seu excesso angular: quando o excesso angular é um valor próximo de zero (isto é, a soma das amplitudes dos ângulos internos é um valor próximo de 180°), a área do triângulo é «quase nula»; por outro lado, quando o excesso angular é um valor próximo de 720° (isto é, a soma das amplitudes dos ângulos internos é um valor próximo de 900°), a área do triângulo é próxima da área total da esfera. Como a área de um triângulo esférico depende apenas da soma das amplitudes dos seus ângulos internos, na esfera, todos os triângulos com ângulos congruentes têm a mesma área; logo, são congruentes. Portanto, na Geometria Esférica não existem triângulos com a mesma forma e áreas diferentes.

Notas

- [1] Polya, George — How to Solve It: a new aspect of mathematical method. With a new foreword by John Conway. United States of America: Expanded Princeton Science Library Edition, 2004.
- [2] Para poderes mover o cursor mais lentamente carrega simultaneamente na tecla Alt. Também podes: rodar a esfera — coloca o cursor do rato em cima da esfera, clica e arrasta.

Atrator e Núcleo do Porto da APM