

Sob pressão Calculando as intensas pressões em subsuperfície

Esse *Earthlearningidea* foi planejado para dar uma ideia das intensas pressões subterrâneas através de cálculos e medições. Ele é apresentado em três sistemas de unidades nas páginas seguintes.

Em todos os casos a equação de Newton:

$$\text{força} = \text{massa} \times \text{aceleração}$$

é válida e o termo da aceleração foi incluído o tempo todo.

(1) Sistema Internacional (SI)

Este sistema é normalmente utilizado em escolas de ensino médio no Reino Unido. As medições são feitas em unidades secundárias de milímetros e gramas e os resultados são apresentados em unidades primárias, Newtons por metro quadrado. Essa unidade é também conhecida como Pascal (Pa). O valor numérico da aceleração devido à gravidade, g , é 10m/s^2 .



Fotografia: S. Allen e G. Jones

(2) Sistema centímetro–grama–segundo (cgs)

Esse sistema pode ser mais fácil para os alunos de escola visualizarem as unidades, pois eles normalmente medem em centímetros. É habitual definir a aceleração devido à gravidade “ a ” como:

$a = 1 \times$ gravidade da Terra (g) em vez de $a = 981 \text{ cm/s}^2$ de modo que gramas (massa) e gramas (força) tenham o mesmo valor numérico, embora as dimensões sejam diferentes. Aqui, as medições são realizadas em gramas e centímetros e os resultados apresentados nas mesmas unidades.

(3) Sistema Imperial

Como acima, libras (força) e libras (massa) são numericamente iguais; implicando que $a = 1 \times$ gravidade da Terra (g) em vez de $a = 32 \text{ pés/s}^2$.

Unidades absolutas de força existem nos sistemas cgs e Imperial – a dina e o poundal respectivamente – mas elas são raramente utilizadas. Elas seriam usadas em cálculos em que a gravidade local é diferente da gravidade da Terra.

Sob pressão

Calculando as intensas pressões subterrâneas em unidades SI

Pressão é definida como sendo a força por unidade de área. Nós podemos utilizar essa definição para ter uma boa ideia das intensas pressões subterrâneas através de medições e cálculos, usando esta equação:

$$\text{Pressão em N/m}^2 \text{ (Pa)} = \frac{\text{massa em kg} \times 10}{\text{área em m}^2}$$

1. Pressão da rocha no subsolo

É difícil cortar rochas na forma e no tamanho corretos para fazer medições de pressão e cálculos, então nós utilizamos areia solta como alternativa. Os cálculos dão uma impressão realista das pressões na litosfera em diferentes profundidades (ou seja, a pressão das rochas superiores nas rochas que estão abaixo delas – a pressão devido à sobrecarga). Em profundidade, a areia se torna arenito devido à cimentação e à compactação.

a) Calcule a massa média de areia em 10 mm de espessura



Fotografia: S. Allen e G. Jones

- Use uma caneta para marcar a proveta com intervalos de 10 mm, de baixo para cima.
- Adicione 10 mm de espessura de areia na proveta e bata nela de leve para se certificar de que está no nível correto. Depois pese.
- Adicione mais 10 mm de areia, bata e pese novamente.

- Subtraia o primeiro valor do segundo para encontrar a massa do segundo intervalo de 10 mm de areia – então anote o resultado.
- Repita isto várias vezes.
- Some todos os resultados de todos os cálculos de massa (desprezando a massa do primeiro 1 cm de profundidade de areia – que é duvidoso) e divida pela quantidade de determinações para encontrar a massa média de 10 mm de profundidade de areia.
- (Para uma proveta de 200 ml convencional e areia normal, a massa de areia com 10 mm de espessura é aproximadamente 23 g ou 0,023 kg).

b) Calcule a área do cilindro

- Meça o diâmetro do interior da proveta.
- Divida a medida ao meio para obter o raio da base interna do cilindro.
- Use a fórmula abaixo para calcular a área da base do cilindro.

$$\text{Área de um círculo} = \pi r^2 = \pi (3,142) \times \text{raio em m} \times \text{raio em m}$$

(Uma proveta normal de plástico de 200 ml tem um diâmetro interno de 40 mm ou 0,04m, um raio de 20 mm ou 0,02 m e uma área da base de $3,142 \times 0,02 \times 0,02 = 0,00126\text{m}^2$).

c) Calcule a pressão de 10 mm de areia

- Use a equação seguinte para calcular a pressão de 10 mm de profundidade de areia.
- $$\text{(Pressão} = \frac{m \times a}{A} = \frac{0,023 \times 10}{0,00126 \text{ m}^2} = 183 \text{ N/m}^2$$

Isto é equivalente a 183 gramas em uma área de aproximadamente uma unha do dedo polegar).

d) Calcule a pressão de 1 m, 100 m, 1 km, 10 km, e 100 km de areia

- Use estes valores calculados para encontrar as pressões das profundidades mostradas na tabela abaixo.

Tabela para uso na parte d).

| Profundidade | Profundidade equivalente | Multiplique o número acima por: | Pressão utilizando os valores acima | Pressão equivalente (unha do dedo polegar equivale a aprox. 0,01 m ²) |
|--------------|--|---------------------------------|---|---|
| 1m | Da mesa ao chão | 100 | 183 x 100 = 18.300 N/m ² | 183 gramas em uma unha do dedo polegar |
| 100m | Pequena sondagem | 100 | 1.830.000 N/m ² (1,8 MPa) | 183 kg em uma unha do dedo polegar (18 pacotes de açúcar) |
| 1 km | Sondagem mais comprida | 10 | 18.300.000 N/m ² (18 MPa) | 1.830kg ou 1,8 toneladas em uma unha do dedo polegar |
| 10 km | Sondagens mais profundas já perfuradas atingiram a metade da espessura média da crosta | 10 | 1.830.000.000 N/m ² (180 MPa) | 1,83 toneladas em uma unha do dedo polegar |
| 100 km | Partes mais espessas da crosta sob cadeias de montanhas | 10 | 1.830.000.000 N/m ² (1,83 GPa) | 18,3 toneladas em uma unha do dedo polegar |

As pressões reais seriam maiores do que esses cálculos com a areia solta sugerem, pois as pressões provenientes das rochas acima causam a compactação das areias o que (juntamente com a cimentação) as transformam em rochas sedimentares; estas são mais densas que areia solta. A areia solta utilizada aqui tinha uma densidade relativa de 1,8 enquanto que a densidade relativa do arenito é aproximadamente 2,7, cerca de 50% maior.

$$\text{Pressão} = \frac{m \times a}{A} = \frac{0,0126 \times 10}{0,00126 \text{ m}^2} = 100 \text{ N/m}^2$$

3. Pressão total no subsolo

A pressão vertical total no subsolo é a pressão litostática e a pressão hidrostática adicionadas, pois ambas agem em conjunto (com a pressão atmosférica adicionada ao topo).

2. Pressão da água no subsolo

Repita a atividade utilizando água ao invés de areia para calcular as pressões hidrostáticas aproximadas no subsolo. Isto mostra os tipos de pressões encontradas em aquíferos (os corpos de rocha porosa e permeável das quais a água subterrânea é extraída). A maioria dos aquíferos está a menos de 1 km abaixo da superfície. *(Para uma proveta de 200 ml, 10 mm de água tem uma massa média de 12,6g. Usando este valor e mudando para N e m:*

Tabela para a água

| Profundidade | Profundidade equivalente | Multiplique o valor por: | Pressão utilizando os valores acima |
|--------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| 1m | Da mesa ao chão | 100 | 100 x 100 = 10.000 N/m ² |
| 100m | Pequena sondagem | 100 | 1.000.000 N/m ² (1,0 MPa) |
| 1 km | Sondagem mais comprida | 10 | 10.000.000 N/m ² (100 MPa) |

Sob pressão

Calculando as intensas pressões no subsolo em g/cm² (sistema cgs)

Pressão é definida como sendo a força por unidade de área. Nós podemos utilizar essa definição para ter uma boa ideia das intensas pressões subterrâneas através de medições e cálculos, por usar esta equação:

$$\text{Pressão em gramas/cm}^2 = \frac{\text{massa, gramas}}{\text{área em cm}^2} \times 1$$

1. Pressão da rocha no subsolo

É difícil cortar rochas na forma e no tamanho corretos para fazer medições de pressão e cálculos, então nós utilizamos areia solta como alternativa. Os cálculos dão uma impressão realista das pressões na litosfera em diferentes profundidades (ou seja, a pressão das rochas superiores nas rochas que estão abaixo delas – a pressão devido à sobrecarga). Em profundidade, a areia se torna arenito devido à cimentação e à compactação.

a) Calcule a massa média de areia em 1 cm de espessura



Photo: S. Allen and G. Jones

Fotografia: S. Allen e G. Jones

- Use uma caneta para marcar a proveta com intervalos de 1 cm, de baixo para cima
- Adicione 1 cm de espessura de areia na proveta e bata nela de leve para se certificar de que está no nível correto. Depois pese.
- Adicione mais 1 cm de areia, bata e pese novamente.

- Subtraia o primeiro valor do segundo para encontrar a massa do segundo intervalo de 1 cm de areia – então anote o resultado.
- Repita isto várias vezes.
- Some todos os resultados de todos os cálculos de massa (desprezando a massa do primeiro 1 cm de profundidade de areia – que é duvidoso) e divida pela quantidade de determinações para encontrar a massa média de 1 cm de profundidade de areia.
- (Para uma proveta de 200 ml convencional e areia normal, a massa de areia com 1 cm de espessura é aproximadamente 23 g).

b) Calcule a área do cilindro

- Meça o diâmetro do interior da proveta.
- Divida a medida ao meio para obter o raio da base interna do cilindro.
- Use a fórmula abaixo para calcular a área da base do cilindro.

Área de um círculo = $\pi r^2 = \pi (3,142) \times \text{raio em cm} \times \text{raio em cm}$.

(Uma proveta normal de plástico de 200 ml tem um diâmetro interno de 4 cm, um raio de 2 cm e uma área da base de $3,142 \times 2 \times 2 = 12,6 \text{ cm}^2$).

c) Calcule a pressão de 1 cm de areia

- Use a equação seguinte para calcular a pressão de 1 cm de profundidade de areia.
- (Para uma proveta de 200 ml, 1 cm de profundidade de areia tem uma massa média de cerca de 23 gramas. Usando este valor:

$$\text{Pressão} = \frac{m \times g}{A} = \frac{23\text{g} \times 1}{12,6 \text{ cm}^2} = 183 \text{ g/cm}^2$$

Isto é equivalente a 1,83 gramas em uma área de aproximadamente uma unha do dedo polegar e também a 183 km.m^{-2} e 320 Pa).

d) Calcule a pressão de 1 m, 100 m, 1 km, 10 km e 100 km de areia

- Use estes valores calculados para encontrar as pressões das profundidades mostradas na tabela abaixo.

Tabela para uso na parte d).

| Profundidade | Profundidade equivalente | Multiplique o número acima por: | Pressão utilizando os valores acima | Pressão equivalente (unha do dedo polegar equivale a aprox. 1 cm ²) |
|--------------|--|---------------------------------|--|---|
| 1m | Da mesa ao chão | 100 | $1,83 \times 100 = 183 \text{ g/cm}^2$ | 183 gramas em uma unha do dedo polegar |
| 100m | Pequena sondagem | 100 | 18.300 g/cm^2 | 183 kg (18 pacotes de açúcar) em uma unha do dedo polegar |
| 1 km | Sondagem mais comprida | 10 | 183.000 g/cm^2 | 183 kg em uma unha do dedo polegar |
| 10 km | Sondagens mais profundas já perfuradas atingiram a metade da espessura média da crosta | 10 | $1.830.000 \text{ g/cm}^2$ | 1,83 toneladas em uma unha do dedo polegar |
| 100 km | Partes mais espessas da crosta sob cadeias de montanhas | 10 | $18.300.000 \text{ g/cm}^2$ | 183 toneladas em uma unha do dedo polegar |

As pressões reais seriam maiores do que esses cálculos com a areia solta sugerem, pois as pressões provenientes das rochas acima causam a compactação das areias o que (juntamente com a cimentação) as transformam em rochas sedimentares; estas são mais densas que areia solta. A areia solta utilizada aqui tinha uma densidade relativa de 1,8 enquanto que a densidade relativa do arenito é aproximadamente 2,7, cerca de 50% maior.

2. Pressão da água no subsolo

Repita a atividade utilizando água ao invés de areia para calcular as pressões hidrostáticas aproximadas no subsolo. Isto mostra os tipos de pressões encontradas

em aquíferos (os corpos de rocha porosa e permeável das quais a água subterrânea é extraída). A maioria dos aquíferos está a menos de 1 km abaixo da superfície. (Para uma proveta de 200 ml, 1 cm de profundidade de água tem uma massa média de 12,6 g. Usando este valor:

$$Pressão = \frac{m \times g}{A} = \frac{12,6g \times 1}{12,6 \text{ cm}^2} = 100 \text{ g/cm}^2$$

3. Pressão total no subsolo

A pressão vertical total no subsolo é a pressão litostática e a pressão hidrostática adicionadas, pois ambas agem em conjunto (com a pressão atmosférica adicionada ao topo).

Tabela para a água

| Profundidade | Profundidade equivalente | Multiplique o valor por: | Pressão utilizando os valores acima |
|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| 1m | Da mesa ao chão | 100 | 1.0 x 100 = 100 g/cm ² |
| 100m | Pequena sondagem | 100 | 10.000 g/cm ² |
| 1 km | Sondagem mais comprida | 10 | 100.000 g/cm ² |

Sob pressão

Calculando as intensas pressões no subsolo – em polegadas/pés quadrados

Pressão é definida como sendo a força por unidade de área. Nós podemos utilizar essa definição para ter uma boa ideia das intensas pressões subterrâneas através de medições e cálculos, por usar esta equação:

$$\text{Pressão em lb/sq} = \frac{\text{massa em libras} \times 1}{\text{área em sq in}}$$

1. Pressão da rocha no subsolo

É difícil cortar rochas na forma e no tamanho corretos para fazer medições de pressão e cálculos, então nós utilizamos areia solta como alternativa. Os cálculos dão uma impressão realista das pressões na litosfera em diferentes profundidades (ou seja, a pressão das rochas superiores nas rochas que estão abaixo delas – a pressão devido à sobrecarga). Em profundidade, a areia se torna arenito devido à cimentação e à compactação.

a) Calcule a massa média de areia em 1 polegada de espessura

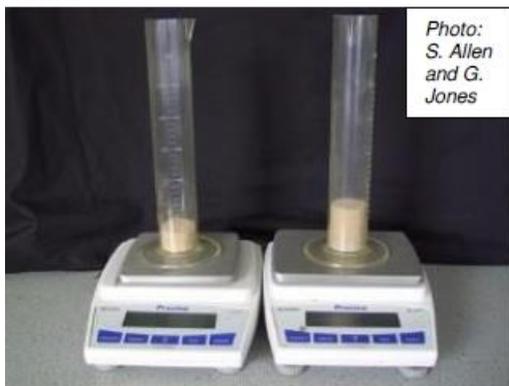


Photo: S. Allen and G. Jones

Fotografia: S. Allen e G. Jones

- Use uma caneta para marcar a proveta com intervalos de 1 polegada, de baixo para cima.
- Adicione 1 polegada de espessura de areia na proveta e bata nela de leve para se certificar de que está no nível correto. Depois pese.
- Adicione mais 1 polegada de areia, bata e pese novamente.

Tabela para uso na parte d).

| Profundidade | Profundidade equivalente | Multiplique o valor por: | Pressão utilizando os valores acima | Pressão equivalente (unha do dedo polegar equivale a aprox. 1 cm ²) |
|--------------|--|--------------------------|---|---|
| 1 jarda | Da mesa ao chão | 36 | 0,065 x 36 = 2,34 lb/sq in | 6 oz em uma unha do dedo polegar |
| 100 jardas | Pequena sondagem | 100 | 234 lb/sq in | 40 libras em uma unha do dedo polegar 20 pacotes de açúcar |
| 1 milha | Sondagem mais comprida | 17,6 | 234 x 17,6 = 4,118 lb/sq in | 700 libras em uma unha do dedo polegar |
| 7 milhas | Sondagens mais profundas já perfuradas atingiram a metade da espessura média da crosta | 7 | 4,118 x 7 = 28,826 lb/sq in = 14,4 toneladas (EUA)/ sq in | 2,5 toneladas (EUA) em uma unha do dedo polegar |
| 70 milhas | Partes mais espessas da crosta sob cadeias de montanhas | 10 | 288,260 lb/sq in (144 toneladas/sq in) | 25 toneladas (EUA) em uma unha do dedo polegar |

- Subtraia o primeiro valor do segundo para encontrar a massa do segundo intervalo de 1 polegada de areia – então anote o resultado.
- Repita isto várias vezes.
- Some todos os resultados de todos os cálculos de massa (desprezando a massa do primeiro 1 polegada de profundidade de areia – que é duvidoso) e divida pela quantidade de determinações para encontrar a massa média de 1 polegada de profundidade de areia.
- (Para uma proveta de 200 ml convencional e areia normal, a massa de areia com 1 polegada de espessura é aproximadamente 0,129 lb).

b) Calcule a área do cilindro

- Meça o diâmetro do interior da proveta.
- Divida a medida ao meio para obter o raio da base interna do cilindro.
- Use a fórmula abaixo para calcular a área da base do cilindro.

Área de um círculo = $\pi r^2 = \pi (3,142) \times \text{raio em polegadas} \times \text{raio em polegadas}$

(Uma proveta normal de plástico de 200 ml tem um diâmetro interno de 1,6 polegadas, um raio de 0,8 polegadas e uma área da base de $3,142 \times 0,8 \times 0,8 = 2,00$ polegadas quadradas).

c) Calcule a pressão de 1 polegada de areia

- Use a equação seguinte para calcular a pressão de 1 cm de profundidade de areia.

$$(\text{Pressão em lb/sq} = \frac{m \times g}{A} = \frac{0,129 \text{ lb} \times 1}{2,00} = 0,065)$$

Isto é equivalente a 0,004 lb (1/6 oz) em uma área de aproximadamente uma unha do dedo polegar).

d) Calcule a pressão de 1 jarda (3 pés), 100 jardas, 1 milha, 7 milhas, e 70 milhas de areia

- Use estes valores calculados para encontrar as pressões das profundidades mostradas na tabela abaixo.

As pressões reais seriam maiores do que esses cálculos com a areia solta sugerem, pois as pressões provenientes das rochas acima causam a compactação das areias o que (juntamente com a cimentação) as transformam em rochas sedimentares; estas são mais densas que areia solta. A areia solta utilizada aqui tinha uma densidade relativa de 1,8 enquanto que a densidade relativa do arenito é aproximadamente 2,7, cerca de 50% maior.

2. Pressão da água no subsolo

Repita a atividade utilizando água ao invés de areia para calcular as pressões hidrostáticas aproximadas no subsolo. Isto mostra os tipos de pressões encontradas em aquíferos (os corpos de rocha porosa e permeável

das quais a água subterrânea é extraída). A maioria dos aquíferos está a menos de 1 km abaixo da superfície. *(Para uma proveta de 200 ml, 1 polegada de profundidade de água tem uma massa média de 0,072 lb. Usando este valor:*

$$Pressão = \frac{m \times g}{A} = \frac{0,072 \text{ lb} \times 1}{2 \text{ polegadas quadradas}} = 0,036 \text{ polegadas/pés quadrados in}.$$

Pressão total no subsolo

A pressão vertical total no subsolo é a pressão litostática e a pressão hidrostática adicionadas, pois ambas agem em conjunto (com a pressão atmosférica adicionada ao topo).

Tabela para a água

| Profundidade | Profundidade equivalente | Multiplique o valor por: | Pressão utilizando os valores acima |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|
| 1 jarda | Da mesa ao chão | 36 | 0,036 x 36 = 1,30 lb/sq in |
| 100 jardas | Pequena sondagem | 100 | 130 lb/sq in |
| 1 milha | Sondagem mais comprida | 17,6 | 130 x 17,6 = 2288 lb/sq in |

Ficha Técnica

Título: Sob pressão

Subtítulo: Calculando as intensas pressões subterrâneas.

Tópico: Medindo a pressão oriunda de uma determinada espessura de areia/ água e utilizando-a para ter ideia das intensidades das pressões subterrâneas.

Faixa etária dos alunos: 12 – 18 anos.

Tempo necessário para completar a atividade: 20 minutos.

Resultados do aprendizado: Os alunos podem:

- Utilizar uma balança eletrônica;
- Fazer cálculos aritméticos;
- Ter uma ideia das intensidades de pressão esperadas no subsolo em várias profundidades.

Contexto:

Essa atividade usa as medidas de laboratório relacionadas às forças aplicadas por diferentes profundidades de areia e água para calcular sua pressão inferior e depois usa esses valores para estimar as prováveis pressões em profundidades da crosta terrestre.

As atividades (tanto com a areia como com a água) começam preenchendo o cilindro com uma profundidade fixa antes da primeira pesagem, uma vez que o fundo de um cilindro é arqueado e então a primeira profundidade de areia/água dá um resultado incerto.

As verdadeiras pressões litostáticas seriam maiores do que esses cálculos com a areia solta sugerem, pois as pressões oriundas das rochas acima (sobrecarga de pressão) causam a compactação das areias o que (juntamente com a cimentação) as transformam em rochas sedimentares; estas são mais densas que areia solta. A areia solta utilizada nos cálculos acima tinha uma densidade relativa de 1,8 enquanto que a densidade relativa do arenito é aproximadamente 2,7, cerca de 50% maior.

Quanto mais profunda a rocha, mais compacta e densa ela se torna, aumentando a pressão nas rochas abaixo. As rochas profundas na crosta são geralmente ígneas e

metamórficas, que normalmente são ainda mais densas que as rochas sedimentares.

Em cada profundidade o material está em equilíbrio porque a pressão por unidade de área é exatamente igual a massa do material acima por unidade de área multiplicada pela aceleração da gravidade.

Continuando a atividade:

Continue essa atividade com o *Earthlearningidea* "Pressão da água - subsolo: demonstrando como a pressão hidrostática cresce com a profundidade".

Princípios fundamentais:

- Quanto mais espessa a rocha sobrejacente, maior a pressão nas rochas abaixo.
- Quanto mais profunda a coluna de água, maior a pressão hidrostática.

Habilidades cognitivas adquiridas:

Calcular os diferentes valores para as profundidades permite que um padrão seja construído, que depois é relacionado ao "mundo real" das profundidades da crosta terrestre.

Lista de materiais:

- Proveta (por exemplo, 200 ml);
- Caneta para marcar a proveta;
- Balança eletrônica;
- Régua;
- Areia seca e água.

Links úteis:

<http://www.nationalstemcentre.org.uk/elibrary/resource/1161/unit-14-who-s-for-a-hot-tight-squeeze-in-inner-space>

Fonte: Essa atividade foi alterada a partir de uma ideia concebida por David Thompson e publicada em 'Who's for a hot, tight squeeze in inner space', Unit 14 das séries *Earth Science Teachers' Association's 'Science of the Earth'* (1989) publicada pela *Geo Supplies, Ltd, Sheffield*.

David faleceu recentemente e este *Earthlearningidea* é publicado em sua memória.

Nós somos muito gratos pela ajuda dos técnicos Suzy Allen e Gwyn Jones do *Keele Education* por montar e testar o aparato, e a Martin Devon por seus comentários construtivos.

© **Earthlearningidea team.** *Earthlearningidea* busca produzir uma nova ideia de ensino de Ciências da Terra, a cada semana, a custo mínimo, com poucos recursos, para educadores e professores de Geografia ou Ciências de educação básica. Com o intuito de desenvolver uma rede global de apoio, promove-se uma discussão *online* em torno da ideia. *Earthlearningidea* tem pouco financiamento e a maior parte do trabalho é feita por esforço voluntário. Os autores abrem mão dos direitos autorais do conteúdo original contido nesta atividade se ela for utilizada em laboratório ou em sala de aula. Direitos autorais de materiais citados aqui, pertencentes a outras casas publicadoras, encontram-se com as mesmas. Toda organização que desejar usar este material deve contatar a equipe de *Earthlearningidea*. Foi empenhado o máximo esforço possível para localizar e entrar em contato com os detentores dos direitos dos materiais incluídos na atividade, com o propósito de obter permissão de uso. Contate-nos, porém, por favor, se você achar que seus direitos autorais estão sendo desrespeitados; agradecemos toda informação que ajude a atualizar os registros. A tradução/adaptação para Português foi realizada pela equipe do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (IG-Unicamp). Se você encontrar alguma dificuldade com a leitura dos documentos, por favor, entre em contato com o grupo *Earthlearningidea* para obter ajuda. Contate o grupo *Earthlearningidea* em: info@earthlearningidea.com

