

Instituto Federal do Espírito Santo

Mestrado Profissional em Ensino de Física

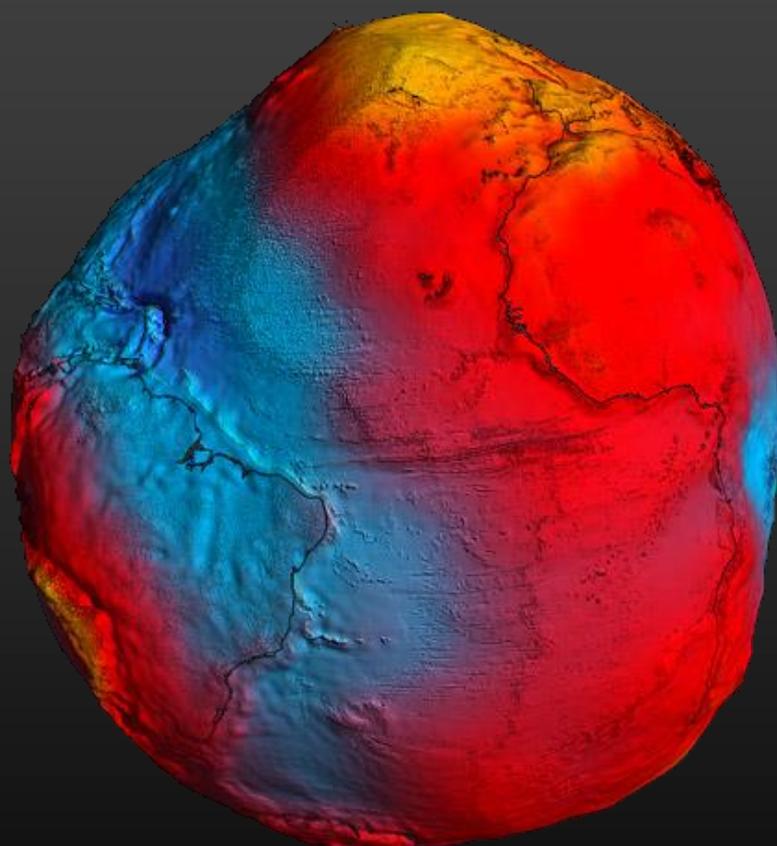
Marcela Altoé Nicoli

Luiz Otávio Buffon

Marcelo Esteves de Andrade

# A Terra sob a óptica da gravidade:

Uma proposta interdisciplinar para o Ensino de Física



Fonte: GOCE/ESA

---

# Apresentação

Este material trata-se de um produto educacional consequente da pesquisa realizada durante o programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). Seu objetivo é apresentar ao professor de Física uma proposta de ensino instigante, que permita a abordagem de alguns princípios físicos de modo significativo, integrando conteúdos relacionados à geografia e à química, a partir da investigação geológica da subsuperfície.

Por não seguir a abordagem usual dos conteúdos propostos para cada série do Ensino Médio, espera-se que a aplicação dessa sequência didática seja feita de maneira independente, sem que haja ônus para a aprendizagem significativa do aluno.

Influenciados pela pedagogia dialógica e problematizadora de Paulo Freire e visando um processo educativo mais participativo e interessante, elaboramos a sequência didática descrita neste trabalho, optando pela dinâmica de ensino dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), descrita como:

1. *Problematização Inicial (PI)*: apresentação dos temas e introdução a problematização, que norteará as discussões procedentes nas próximas etapas.
2. *Organização do conhecimento (OC)*: Os estudantes sistematizam, juntamente com o professor, as questões e conhecimentos relacionados ao tema.
3. *Aplicação do conhecimento (AC)*: Os conceitos discutidos e as novas concepções devem ser utilizados para conceber uma resposta às questões abordadas na PI, além de outras situações que são explicadas pelo mesmo conhecimento.

Usando a gravidade como temática central, a sequência encaminha-se para a compreensão de como diferentes propriedades geológicas do interior do nosso planeta podem ser investigadas a partir das medidas da aceleração gravitacional, por provocarem anomalias em seu valor. Dessa maneira, os instrumentos utilizados para essas medidas também são discutidos, possibilitando que tópicos adjacentes de física sejam abordados ao longo da proposta.

A sequência está subdividida em seis temas, cada qual com sua problematização específica, que servem como Organização do Conhecimento para a Problematização Inicial elementar da

---

---

proposta. O quadro abaixo nos mostra cada um dos subtemas desenvolvidos, além de nos permitir uma visão geral deste material, dado que cada capítulo foi confeccionado para corresponder a uma etapa descrita nele.

Síntese da sequência didática.

---

Problematização Inicial da sequência didática:			
PI	SUBTEMA	ETAPA	ASSUNTO
	I	PI/OC/AC	A aceleração gravitacional e sua variação devido a forma da Terra
	II	PI/OC/AC	Composição química e zoneamento do planeta
O	III	PI/OC/AC	A aceleração gravitacional e sua variação devido a distribuição de massa no planeta
C	IV	PI/OC/AC	Princípio da flutuabilidade e sua aplicação em subsuperfície
	V	PI/OC/AC	Medida da gravidade e a queda livre dos corpos
	VI	PI/OC/AC	Medida da gravidade e uma balança

---

Retomada da PI e nova situação proposta:	
AC	<i>“Alguma outra propriedade física, além da gravidade, poderia ser útil para a análise do subsolo, de maneira a encontrar petróleo, por exemplo? Alguma mudaria devido aos fluidos?”</i>

---

---

## Caro professor,

O material didático aqui apresentado é constituído por um conjunto de atividades que visam vincular conceitos físicos aprendidos ao longo do ensino médio com aplicações relacionadas ao método geofísico da gravimetria. Os autores tem a intenção de que vocês consigam elucidar aos alunos possíveis aplicações de conceitos aprendidos ainda em nível médio como ferramenta de estudo do nosso planeta. De maneira alguma, deseja-se que este trabalho seja seguido à risca, mas sim que as atividades possam ser trabalhadas de forma independente, dependendo da maturidade envolvendo os conceitos de Física que os estudantes possuam.

Por ser tratar de uma proposta envolvendo conteúdos diversificados do usualmente trabalho na grade curricular de Física, sugerimos a vocês que venham a utilizar o nosso material, que não deixem de fazer um breve estudo do método, aprofundando-o através da bibliografia recomendada.

Bom trabalho.

---

---

## Sumário

<b>CAPÍTULO 1: PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....</b>	<b>7</b>
Problematização Inicial.....	8
<b>CAPÍTULO 2: A ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL E SUA VARIAÇÃO DEVIDO À FORMA DA TERRA.....</b>	<b>13</b>
Problematização Inicial.....	14
Organização do Conhecimento.....	15
Aplicação do Conhecimento .....	20
<b>CAPÍTULO 3: COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ZONEAMENTO DO PLANETA .....</b>	<b>23</b>
Problematização Inicial.....	24
Organização do Conhecimento.....	25
Aplicação do Conhecimento .....	38
<b>CAPÍTULO 4: A ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL E SUA VARIAÇÃO DEVIDO A DISTRIBUIÇÃO DE MASSA NO PLANETA.....</b>	<b>39</b>
Problematização Inicial.....	40
Organização do Conhecimento.....	41
Aplicação do Conhecimento .....	45
<b>CAPÍTULO 5: PRINCÍPIO DA FLUTUABILIDADE E SUA APLICAÇÃO EM SUBSUPERFÍCIE .....</b>	<b>47</b>
Problematização Inicial.....	48
Problematização Inicial.....	48
Organização do Conhecimento.....	50
Aplicação do Conhecimento .....	56
<b>CAPÍTULO 6: MEDIDA DA GRAVIDADE E A QUEDA LIVRE DOS CORPOS .....</b>	<b>60</b>
Problematização Inicial.....	61
Organização do Conhecimento.....	62
Aplicação do Conhecimento .....	66

---

---

<b>CAPÍTULO 7: MEDIDA DA GRAVIDADE E A BALANÇA.....</b>	<b>68</b>
Problematização Inicial.....	69
Organização do Conhecimento.....	71
Aplicação do Conhecimento .....	75
<b>CAPÍTULO 8: APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....</b>	<b>79</b>
Aplicação do Conhecimento .....	80
<b>REFERÊNCIAS _____</b>	<b>83</b>

---

# CAPÍTULO 1

## Problematização Inicial da sequência didática

## PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

### Objetivo:

Problematizar a respeito de como ocorrem as investigações do interior do planeta, principalmente em profundidades em que não se tem acesso a amostra.

### Questões e atividades sugeridas para a discussão:

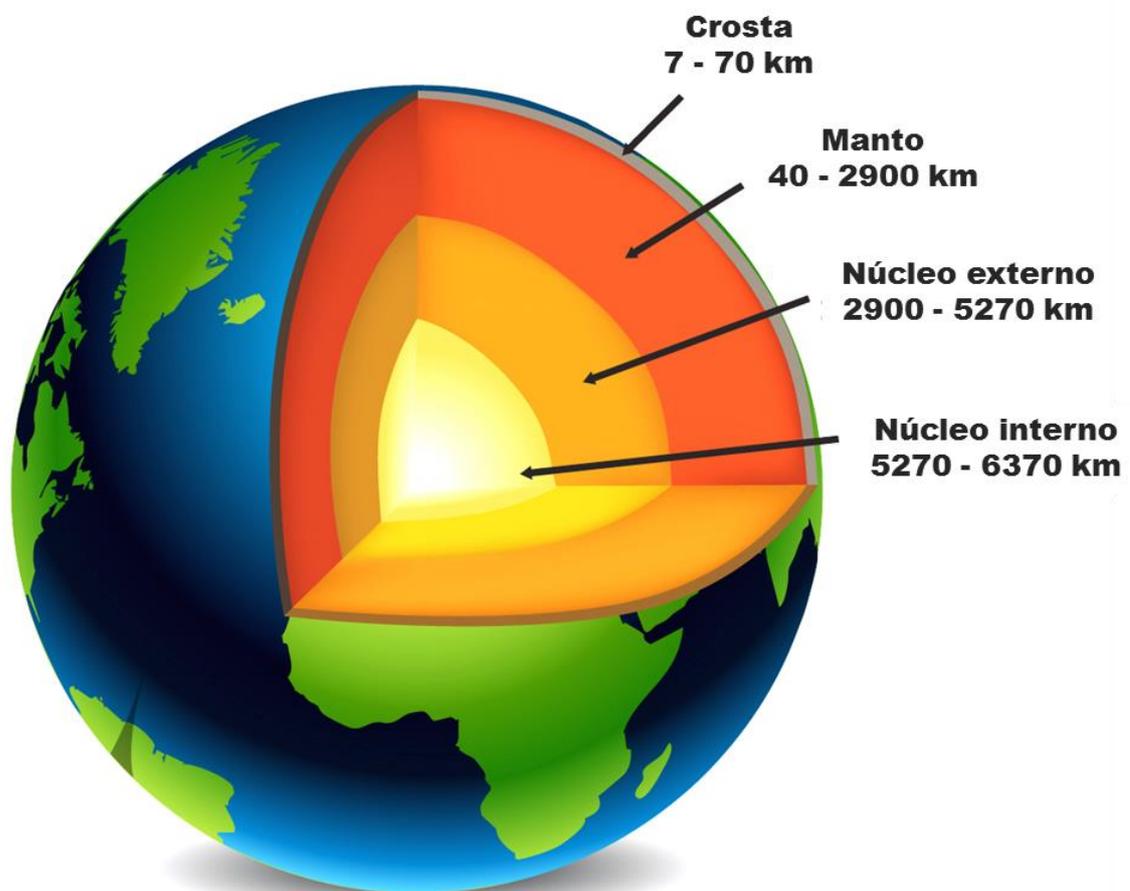
1. Apresente a **figura 1** aos alunos, seguida da pergunta:
  - *Qual foi a maior profundidade alcançada pelo homem?*
2. Faça a leitura dos textos sugeridos, disponíveis na próxima seção:
  - **O buraco mais profundo já cavado na Terra.**
  - **Qual é a maior profundidade do oceano e até onde o homem já conseguiu descer?**
3. A partir da leitura dos textos, inicie novas problematizações:
  - *Como obter informações dos outros 6400 km?*
  - *Tudo o que sabemos a respeito do interior do nosso planeta foi visto diretamente, isto é, através de amostras?*
  - *É possível analisarmos o interior da Terra sem que haja amostras da subsuperfície?*

*Dica: Desperte a curiosidade dos alunos para o fato de que as profundidades já alcançadas pelo homem, de maneira direta, são ínfimas quando comparadas ao raio do planeta. Discuta sobre maneiras possíveis de analisarmos algo de modo indireto como, por exemplo, através da ultrassonografia.*

## Materiais sugeridos

Figura 1:

Ilustração do planeta Terra, destacando as marcações de profundidade das diferentes camadas em seu interior.



Fonte: Imagem retirada de ANDRIETTA, M., 2019. Dados modificados a partir de PRESS et al., 2006

## O buraco mais profundo já cavado na Terra

Mark Piesing - BBC Future

25 de maio 2019



A paisagem da península de Kola, nos confins do Círculo Polar Ártico, pode fazer com que esse canto da Rússia pareça uma cena de um conto de fadas. No entanto, em meio à beleza natural, estão as ruínas de uma estação de pesquisa científica soviética abandonada. Ali, há uma tampa de metal pesada e enferrujada sobre o piso de concreto, lacrada por um anel de ferrolhos grossos e também enferrujados.

Para muitos, esta é a entrada para o inferno.

Trata-se do Poço Superprofundo de Kola, o buraco mais profundo cavado pelo homem na Terra.

A estrutura de 12,2 km é tão profunda que os moradores locais juram que podem ouvir os gritos das almas torturadas no inferno. Os soviéticos levaram quase 20 anos para concluí-la. Apesar disso, não chegaram ao fundo da Terra. Na verdade, a broca ainda estava a apenas um terço do caminho entre a crosta e o manto da Terra quando o projeto foi interrompido, em meio ao caos da Rússia pós-soviética.

O Poço Superprofundo de Kola não é o único buraco desse tipo na Terra. Durante a Guerra Fria, houve uma corrida entre as superpotências para perfurar o mais fundo possível da crosta terrestre - e até para alcançar o manto do nosso planeta.

## Corrida ao manto

Agora, são os japoneses que querem se lançar nesta empreitada.

"A perfuração começou na época da Cortina de Ferro", conta Uli Harms, do Programa Internacional de Perfuração Continental Científica (ICDP, na sigla em inglês). Na época um jovem cientista, ele trabalhou na "rival alemã" do Poço Superprofundo de Kola. "Havia certamente uma competição entre nós. Uma das principais motivações era que os russos simplesmente não revelavam nada sobre o que faziam."

"Quando eles começaram a perfurar, alegraram que haviam encontrado água livre - e a maioria cientistas não acreditava nisso. Havia um consenso entre nós de que a crosta era tão densa a 5 km abaixo da Terra que a água não poderia penetrar nela."

"O objetivo final do (novo) projeto é obter amostras reais do manto tal qual ele existe agora", diz Sean Toczko, gerente de programa da Agência Japonesa para Ciências da Terra Marinha. "Em lugares como Omã, podemos encontrar o manto perto da superfície, mas esse é o manto de milhões de anos atrás".

"É a diferença entre ter um dinossauro vivo e um osso de dinossauro fossilizado", compara.

Em outras palavras: se a Terra é como uma cebola, então a crosta é como a pele fina do planeta. Tem apenas 40 km de espessura. Para além dali, há um manto com 3.000 km de profundidade. Abaixo dele, o núcleo da Terra.

Tal como a corrida espacial, a disputa para explorar essa desconhecida "fronteira profunda" foi uma demonstração de proeza de

engenharia, tecnologia de ponta e "coisas certas". Os cientistas queriam ir aonde nenhum humano havia ido. As amostras de rocha que esses furos profundos poderiam fornecer eram provavelmente tão importantes para a ciência quanto qualquer coisa que a Nasa, a agência espacial americana, trouxe da Lua. A única diferença foi que desta vez os americanos não venceram a corrida. Na verdade, ninguém venceu.

Os EUA foram os primeiros a tentar explorar essa fronteira profunda. A iniciativa partiu da famosa American Miscellaneous Society, no final dos anos 1950. O grupo informal era formado por expoentes das principais da comunidade científica dos EUA. A ideia de perfurar a crosta terrestre até o manto foi chamada de projeto Mohole, em homenagem à Descontinuidade de Mohorovičić (ou Descontinuidade M), que separa a crosta do manto.

Em vez de perfurar um buraco muito, muito profundo, a expedição dos EUA decidiu fazer um atalho pelo oceano Pacífico a partir de Guadalupe, no México.

A vantagem de perfurar o fundo do oceano é que ali a crosta terrestre é mais fina; a desvantagem é que as áreas mais finas da crosta geralmente são onde o oceano tem a maior profundidade.

*Para a leitura do texto completo, acesse: <https://www.bbc.com/portuguese/vert-fut-48330248>*

# Qual é a maior profundidade do oceano e até onde o homem já conseguiu descer?

Por Redação Mundo Estranho

4 de julho 2018

O ponto mais fundo do oceano é a fossa das Ilhas Marianas, localizada no Oceano Pacífico, cerca de 2 500 quilômetros a leste das Filipinas. É uma espécie de vale submarino e está, na sua parte mais profunda, 11 500 metros abaixo da superfície do mar – o que equivale a sete vezes o tamanho do Grand Canyon, nos Estados Unidos. Já o recorde de profundidade em mergulho foi obtido por Jacques Piccard, oceanógrafo suíço, e Donald Walsh, tenente da Marinha americana.

“Ambos comandaram o submersível Trieste I, que desceu 35 800 pés (cerca de 11 000 metros) – a maior profundidade oceânica registrada –, no dia 23 de janeiro de 1960, em uma das fossas das Marianas chamada Challenger Deep, a cerca de 360 quilômetros ao sul das Ilhas Guam, no Oceano Pacífico”, diz o oceanógrafo e físico Afrânio Rubens de Mesquita, da USP. O submersível é um pequeno submarino, muito mais resistente à pressão.

## Planetinha extremista

Compare a montanha mais alta do planeta com o maior buraco no fundo do mar. A fossa das Ilhas Marianas, na Micronésia, tem 11 500 metros de profundidade. Assim, para ir do ponto mais alto ao mais profundo do planeta seria preciso percorrer 20 348 metros.

O Monte Everest, na Cordilheira do Himalaia, tem 8 848 metros de altura. Ele precisaria ser 2 652 metros mais alto para caber dentro da fossa das Ilhas Marianas.

Acesse em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/qual-e-a-maior-profundidade-do-oceano-e-ate-onde-o-homem-ja-conseguiu-descer/>

## CAPÍTULO 2

A aceleração gravitacional e sua variação devido à forma da Terra

## PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

### Objetivo:

Problematizar a respeito da grandeza física gravidade, analisando possíveis parâmetros que poderiam alterar o seu valor, como também a importância científica dessa variação.

### Questões e atividades sugeridas para a discussão:

1. Introduza a problematização a partir do pequeno trecho sugerido abaixo:

Utilizamos como valor para a aceleração gravitacional terrestre, na maioria de nossos exercícios do EM, o valor de  $10 \text{ m/s}^2$ , ou, quando queremos ser “mais precisos”, o valor de  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

- *Seria, então, a gravidade constante em qualquer ponto sobre a superfície do planeta?*
- *Qual(is) fator(es) poderiam aumentar ou diminuir esse valor?*
- *Poderíamos tirar alguma informação importante caso haja variação?*

## ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Objetivo:

Abordar a Lei da Gravitação de Newton e a aceleração gravitacional. Relacionar a variação da aceleração gravitacional a forma não esférica da Terra, aos efeitos de atração entre Lua e Terra, além dos efeitos da rotação do planeta sobre o valor da gravidade.

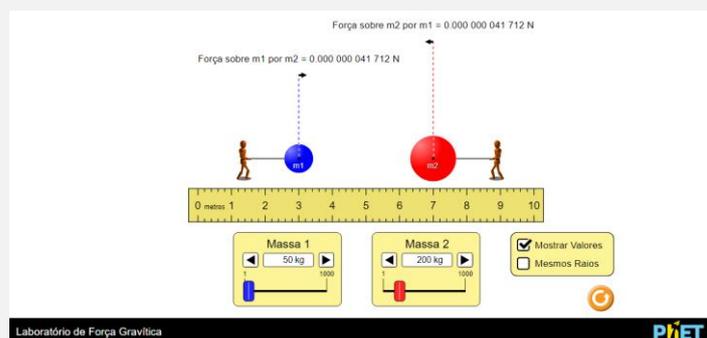
### Estratégias sugeridas:

1. Aborde a Lei da Gravitação Universal de Newton. Discuta com os alunos cada um dos parâmetros relacionados ela, enfatizando as relações de proporcionalidade da força com a massa e a distância.
  - Para contribuir com entendimento das relações discutidas acima, explore o **simulador Laboratório de Força Gravital**, do projeto Phet Simulações Interativas, disponível em:

[https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-force-lab/latest/gravity-force-lab\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/gravity-force-lab/latest/gravity-force-lab_pt_BR.html)

- Proponha que os alunos variem a massa e a distância entre os corpos. Discuta o valor da força gravitacional, acentuando sua ordem de grandeza devido a pequenez da constante gravitacional.

*Dica: Aproveite para discutir a 3ª Lei de Newton, a partir dos valores exibidos para a força gravitacional sobre os corpos.*



Fonte: Print screen da página do Phet Interactive Simulations.

2. Correlacione a força gravitacional com a 2ª Lei de Newton, destacando os parâmetros necessários para encontrar o valor da aceleração gravitacional.

- A partir dos valores médios do raio e da massa da Terra, encontre um valor aproximado para a aceleração gravitacional terrestre.

$$M_{\text{Terra}} = 5,9 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$R_{\text{Terra}} = 6,3 \times 10^6 \text{ m}$$

$$G = 6,6 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$$

$$F = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2} \quad \Rightarrow \quad g = 9,8 \text{ ms}^{-2}$$

3. Discuta com os alunos sobre a possibilidade de algum fator externo ao raio e a massa da Terra poderia causar variação sobre o valor da aceleração gravitacional.

- Faça a leitura e discuta com os alunos sobre o texto **“A influência da rotação da Terra sobre a medida da gravidade”**.
- Defina a grandeza física gravidade a partir da aceleração gravitacional e da rotação da Terra.

## A influência da rotação da Terra sobre a medida da gravidade

Além da influência da massa e do raio da Terra sobre o valor de  $g$ , há um fator “externo” a esses que influencia no valor medido da gravidade em determinado ponto da Terra: seu movimento de rotação ao redor de si mesma. Isto quer dizer que, a aceleração gravitacional depende apenas da massa e distância, mas sua medida sofre influência desse efeito de rotação. Para entendermos melhor de que maneira o movimento de rotação pode influenciar sobre o valor medido da aceleração gravitacional, devemos recordar primeiramente a lei da inércia, também chamada de 1ª Lei de Newton, que diz: “Todo corpo permanece parado ou em movimento retilíneo uniforme (MRU) a menos que uma força seja aplicada nele”. Se estamos falando de um movimento de rotação (logo, o que não é retilíneo!), a todo momento é necessário que uma força aja sobre nós, puxando-nos para o centro da trajetória, para completarmos o movimento e não sair pela tangente. Chamamos esta força de centrípeta, e ela pode ser a tração em uma corda, ou a força gravitacional, ou qualquer outra força que seja responsável por fazer o objeto continuar na trajetória circular. Por exemplo, se estamos rotacionando um objeto preso a um fio e cortamos o fio, ele passará a se mover em linha reta, já que a força de tração deixa de atuar sobre ele, como mostra a figura 1.

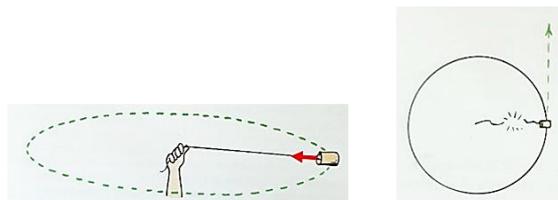


Figura 1: Quando o barbante rompe, a lata que girava passa a se mover em uma linha reta tangente à trajetória circular original, e não na direção radial, afastando-se do centro do círculo.

Quando analisamos essa situação sob a perspectiva do referencial que está em movimento circular, como a lata, sentimos essa tendência a permanecer em linha reta como uma força nos puxando para fora da trajetória, como mostra a figura 2.

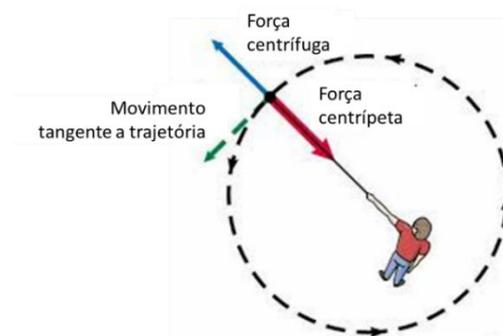


Figura 2: Nesta situação, a tração no fio toma o papel de força centrípeta, enquanto uma força fictícia apontando para fora da trajetória, aparenta puxar a lata.

Isto porque se o referencial não for inercial, isto é, se houver uma força resultante agindo sobre ele, sua aceleração gerará forças “fictícias” nos objetos do sistema. Por exemplo, quando um carro faz uma curva para a esquerda, o passageiro “cai” para a direita, não porque exista uma força real

atraindo ele para a direita, mas porque, por inércia, sua tendência natural é permanecer em movimento retilíneo uniforme, e quando o carro vira para a esquerda, o passageiro tende a permanecer em linha reta, o que resulta num movimento aparente para a direita, aparente em relação ao carro. No referencial do carro, a força para a direita é fictícia, pois não há fontes que ocasionam esta força, e porque há um referencial inercial externo que explica esta força fictícia a partir da aceleração do carro. Chamamos essa força fictícia de força centrífuga, e ela sempre se orienta na direção do centro da curva mas em sentido para fora do centro, como é possível observamos na figura 2. Seu nome deve-se ao significado do termo, já que centrífuga significa “que foge ao centro”.

Seu valor será diretamente proporcional a velocidade tangencial que o corpo possui. Portanto, quanto mais distantes estamos do eixo de rotação em um movimento circular, maior terá de ser nossa velocidade para conseguirmos dar uma volta completa no mesmo intervalo de tempo, já que teremos uma distância maior a percorrer (figura 3a). Pensando em nosso movimento de rotação junto com o planeta, quanto mais afastados estivermos do seu eixo de rotação, portanto no equador, maior será nossa velocidade tangencial, logo maior será a força centrífuga sentida. Em contrapartida, nos polos seu valor será praticamente nulo, já que será nula nossa velocidade tangencial (figura 3b).

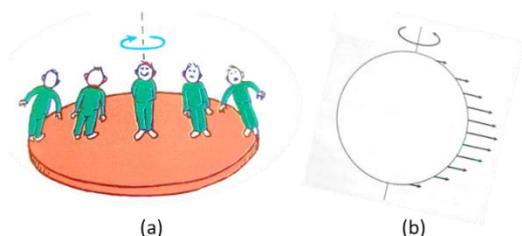


Figura 3: (a) Em um movimento circular, quanto mais afastado do eixo um corpo tiver, maior deverá ser a sua velocidade; (b) Como a força centrífuga aumenta com o aumento da velocidade tangencial,

para a Terra em rotação, a força centrífuga aumenta em direção ao equador.

Analisando a interferência dessa força inercial sobre o valor da gravidade, como seu sentido é oposto ao da força gravitacional, as medidas da aceleração gravitacional sofrerão seu efeito, sendo menores do que os valores reais devido aos efeitos da força gravitacional. Nos polos, por ser praticamente nula, não haverá nenhuma influência da rotação haverá sobre o valor da aceleração gravitacional (figura 4).

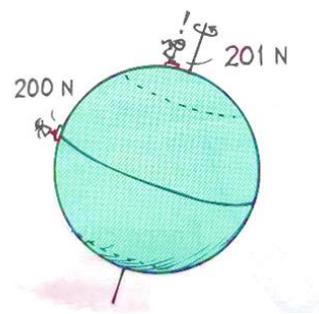


Figura 4: No equador, o valor da gravidade medida será menor do que o produzido pela força gravitacional devido ao efeito da força centrífuga. Sentimos uma força centrífuga que diminui ligeiramente nosso peso.

Analisando por fim o efeito sobre o valor da gravidade devido ao raio, ao achatamento e ao movimento da Terra, concluímos que a gravidade nos polos excede a gravidade no equador por cerca de  $51860 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}^2$ . Outro fator interessante relacionado a interferência de um movimento sobre a medida da gravidade, deve-se as medidas que são feitas em um veículo transportando um medidor. Se o equipamento se desloca sobre o planeta, existe uma velocidade angular associada a ele, que pode se somar ou se subtrair a velocidade com que o planeta é rotacionado, logo aumentando ou diminuindo o valor da força centrífuga. Portanto, a direção e o sentido precisos do trajeto são fundamentais para estimarmos esse resultado.

## REFERÊNCIAS

HEWITT, P. G. Física conceitual. 9a ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. Geofísica de Exploração. 2ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2009. 438p.

PESSOA JUNIOR, O. F. Experimento do balde e espaço absoluto. [2010]. Disponível em: [http://stoa.usp.br/daros/files/2856/16813/Balde-de-Newton\\_Principio-de-Mach.pdf](http://stoa.usp.br/daros/files/2856/16813/Balde-de-Newton_Principio-de-Mach.pdf). Acesso em: 15 jan.2019.

## APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Objetivo:

Utilizar das novas concepções adquiridas para relacionar as características do planeta com possíveis variações no valor da gravidade, principalmente quando relacionadas as variações de distância.

Retomada dos questionamentos iniciais, utilizando dados reais sobre o planeta:

1. Forma da Terra não esférica: diferença entre o raio polar e o raio equatorial.

- Discuta com os alunos sobre como o achatamento polar do planeta pode influenciar no valor da gravidade, devido a variação na distância ao centro da Terra.

*Dica: Utilize a imagem e o dados presentes na **figura 2** para desenvolver essa ideia.*

2. Subindo uma montanha: O aumento da distância com a altitude.

- Discuta com os alunos sobre como a altitude pode influenciar no valor da gravidade terrestre, devido ao aumento da distância ao centro da Terra.

*Dica: Utilize a imagem e o dados presentes na **figura 2** para desenvolver essa ideia.*

3. As marés terrestres: elevações da crosta terrestre devido a atração gravitacional exercida pela Lua.

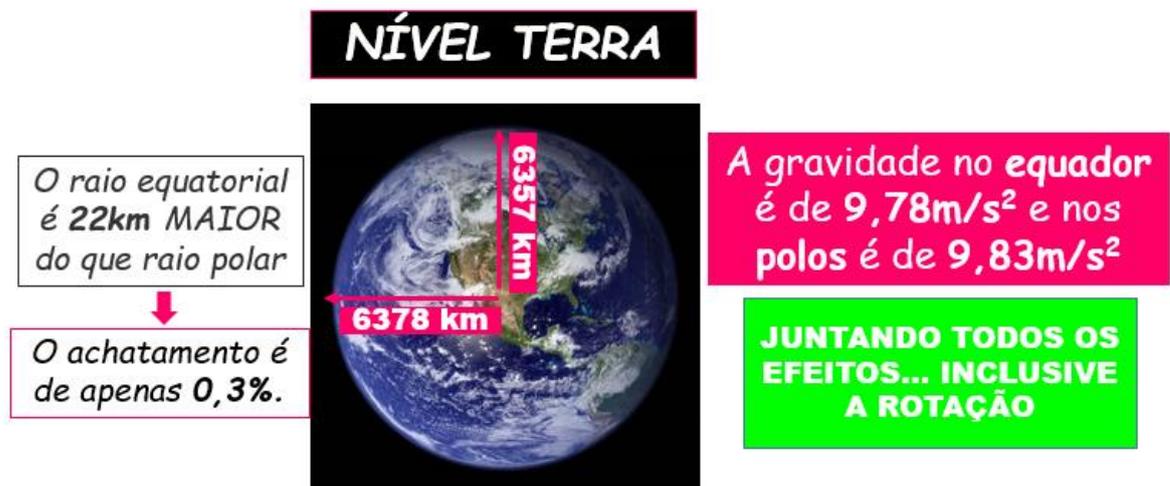
- Aborde com os alunos o fenômeno das marés terrestres, relacionado ao movimento da crosta terrestre devido a atração gravitacional exercida pela Lua.

*Dica: Utilize a imagem e o dados presentes na **figura 3** para desenvolver essa ideia.*

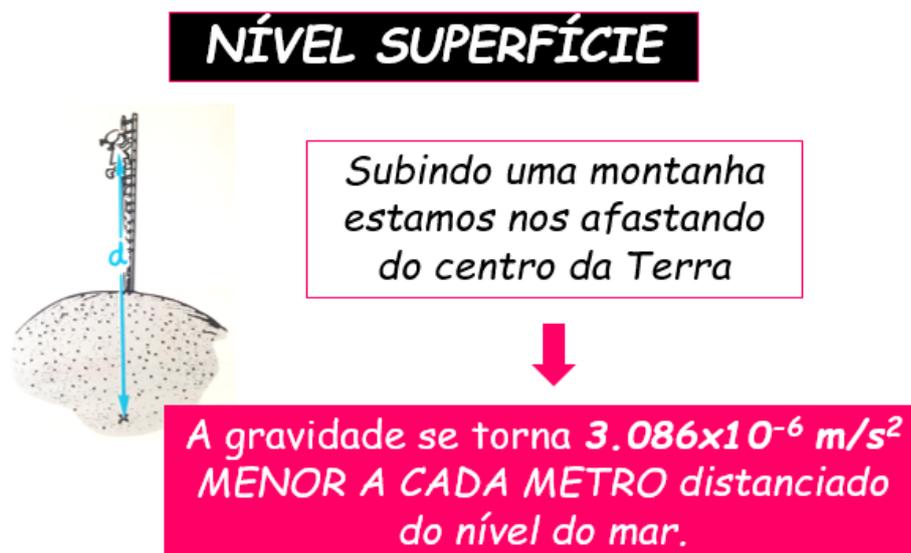
## Materiais sugeridos

Figura 2:

Esquema com ilustrações e dados denotando a variação da gravidade na superfície terrestre devido a variação do raio e da altitude da superfície.



Fonte: Imagem retirada de NASA/AFP/ARQUIVOS. Dados retirados de KEAREY et al., 2009.



Fonte: Dados retirados de KEAREY et al., 2006.

Figura 3:

Esquema com ilustrações e dados a respeito do fenômeno das marés terrestres.



Fonte: Modificado de ROCZKO, 2011. Dados retirados de KEAREY et al., 2009.

## CAPÍTULO 3

Composição química e zoneamento do planeta

## PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

### Objetivo:

Problematizar a respeito da composição química do planeta, além de propriedades e abundância dos elementos presentes tanto na crosta como no interior da Terra.

### Questões e atividades sugeridas para a discussão:

1. Discuta com os alunos a respeito das possíveis variações de massa ao longo do planeta e como ela afetaria o valor da gravidade:

E, em relação a massa:

- *Seria a Terra homogênea?*
- *Do que é feito nosso planeta?*

# ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

## Objetivo:

Abordar o zoneamento e o processo de diferenciação ocorridos durante a primórdios da Terra, discutindo a influência da densidade dos elementos químicos sobre o processo. Explorar a formação da crosta terrestre, dando ênfase a composição química e estrutura cristalina dos minerais.

## Estratégias sugeridas:

1. Faça a leitura do texto “**A Terra primitiva: formação de um planeta em camadas**”.
2. A partir da figura 4, explore com os alunos as ideias abordadas ao longo do texto, analisando a abundância dos elementos químicos em cada camada do planeta, relacionando sua densidade à gravidade para essa distribuição.
3. Complemente a discussão anterior através da **Tabela periódica virtual**, disponível no endereço: <https://www.ptable.com/?lang=pt>

The image shows a screenshot of the Ptable website's periodic table. The table is organized into groups and periods, with elements color-coded. Key elements highlighted in the original image include Hydrogen (H), Helium (He), Lithium (Li), Beryllium (Be), Boron (B), Carbon (C), Nitrogen (N), Oxygen (O), Fluorine (F), Neon (Ne), Sodium (Na), Magnesium (Mg), Aluminum (Al), Silicon (Si), Phosphorus (P), Sulfur (S), Chlorine (Cl), Argon (Ar), Potassium (K), Calcium (Ca), Scandium (Sc), Titanium (Ti), Vanadium (V), Chromium (Cr), Manganese (Mn), Iron (Fe), Cobalt (Co), Nickel (Ni), Copper (Cu), Zinc (Zn), Gallium (Ga), Germanium (Ge), Arsenic (As), Selenium (Se), Bromine (Br), Krypton (Kr), Rubidium (Rb), Strontium (Sr), Yttrium (Y), Zirconium (Zr), Niobium (Nb), Molybdenum (Mo), Technetium (Tc), Ruthenium (Ru), Rhodium (Rh), Palladium (Pd), Silver (Ag), Cadmium (Cd), Indium (In), Tin (Sn), Antimony (Sb), Tellurium (Te), Iodine (I), Xenon (Xe), Barium (Ba), Lanthanum (La), Cerium (Ce), Praseodymium (Pr), Neodymium (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb), and Lutetium (Lu). The table also includes Francium (Fr) and Radium (Ra) at the bottom left.

Fonte: *Print screen* da página da Ptable.

*Dica: Destaque as propriedades dos elementos químicos mais abundantes na crosta terrestre, como o Oxigênio, Silício, Ferro, Alumínio e Magnésio. Na opção abundância, podemos analisar a porcentagem de cada elemento químico tanto na crosta terrestre (crust) como no universo (universe).*

4. A partir da **figura 5**, explore os conhecimentos prévios dos alunos a respeito da composição da crosta terrestre, de suas rochas formadoras como também da variedade de minerais formadores das rochas.
5. Faça a leitura do texto “**O que são os minerais e como identificá-los**”.
6. Discuta com os alunos como os diferentes tipos de elementos e ligações químicas são responsáveis pela extensa variedade de minerais existentes na crosta terrestre, como em relação a sua forma, cor, dureza, além de outras propriedades.

*Dica: Analise com os alunos as diferenças existentes entre o diamante e grafita. Destaque como a temperatura e a pressão influenciam na formação dos diferentes sólidos, dando origem a materiais de mesma composição mas propriedades tão diferentes. Utilize as ilustrações e informações da **figura 6**.*

7. Usando de amostras de diferentes minerais, explore com os alunos as características mais marcantes de cada um deles, dando ênfase às *diferentes densidade* entre as amostras, como também aos *diferentes hábitos cristalinos*.

*Dica: Algumas amostras contendo diferentes minerais são bastante comuns e de fácil acesso. Priorize pelas amostras contendo:*

- **Magnetita**, evidenciando sua alta densidade como também sua capacidade de magnetização;
  - **Calcita**, evidenciando sua baixa densidade como também sua solubilidade em HCl;
  - **Talco**, evidenciando sua baixa dureza;
  - **Quartzo**, evidenciando seu hábito cristalino prismático;
  - **Mica**, evidenciando seu hábito cristalino laminar.
8. Acesse o **portal de mineralogia do Museu de Minerais, Minérios e Rochas Heinz Ebert**, juntamente com os alunos, para a análise da propriedade de diversos minerais, disponível no link: <https://museuhe.com.br/>

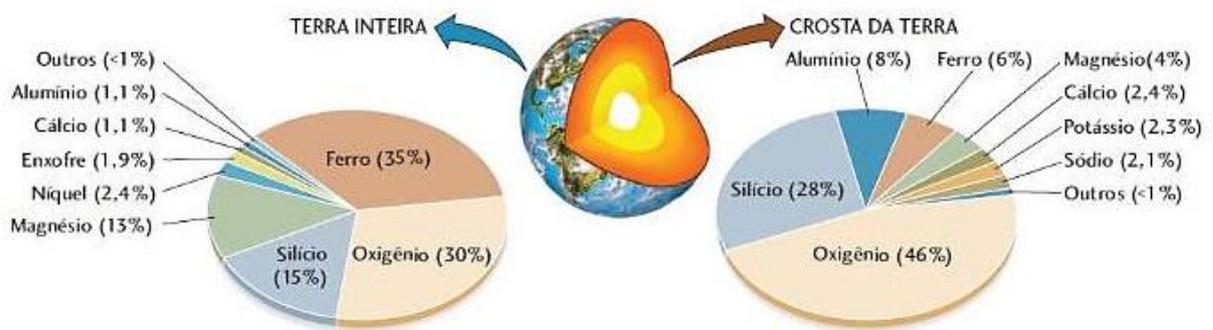


Fonte: *Print screen* da página inicial do MHE.

## Materiais sugeridos

Figura 4:

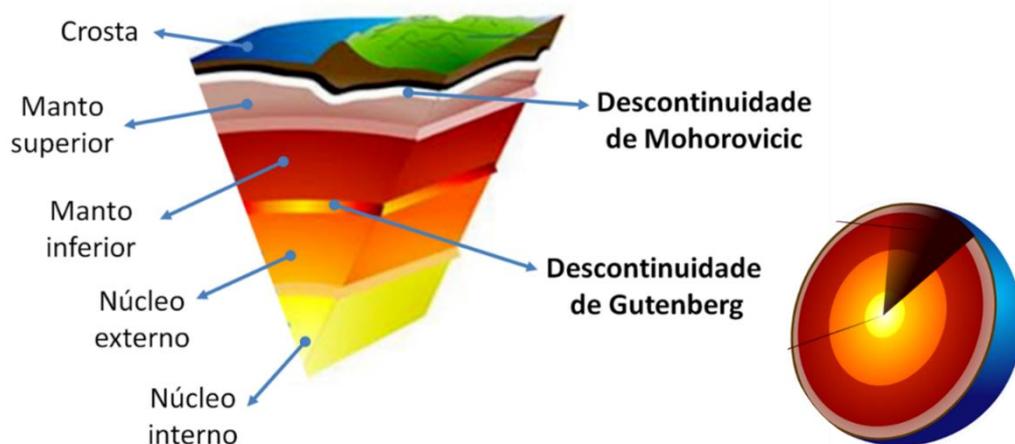
Esquema com ilustrações e dados a respeito da abundância de elementos químicos no planeta, a porção relativa aos elementos encontrados na Terra inteira comparada a porção encontrada na crosta, dados em percentual de peso. Repare que apesar de abundante, apenas 6% do ferro está presente na crosta.



Fonte: PRESS et al., 2006.

Figura 5:

Divisão interna das camadas da Terra.

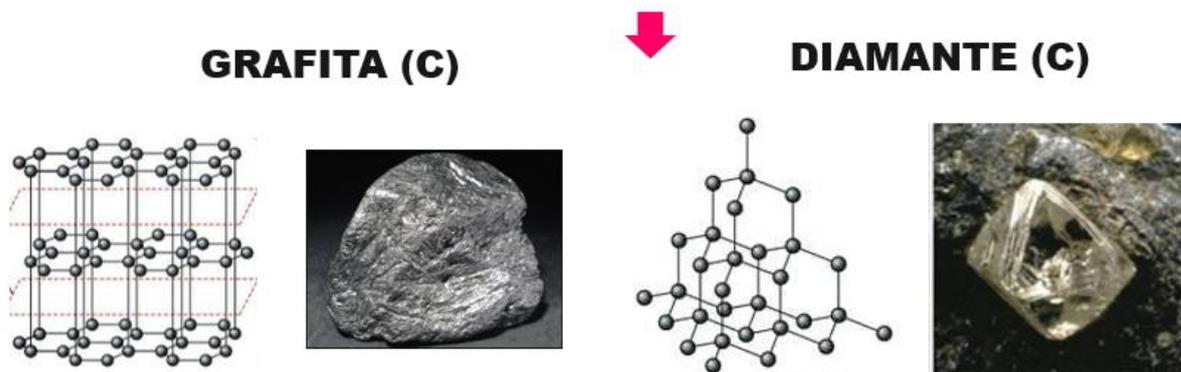


Fonte: CPBEdu, 2018.

Figura 6:

Esquema com ilustrações e dados comparando a grafita (usada na fabricação de lápis) com o diamante, ditos minerais polimorfos. Ou seja, possuem estruturas alternativas de um único composto químico. Esses minerais exemplificam os efeitos dramáticos que a temperatura e a pressão podem exercer sobre a cristalização dos minerais, influenciando sobre suas ligações químicas.

*A diferença na estrutura deve-se a pressão e temperatura que foram formados!*



***Minerais formados pelos MESMOS ÁTOMOS DE CARBONO,  
mas com ESTRUTURAS CRISTALINAS DIFERENTES!***

Fonte: Museu de Minerais, Minérios e Rochas Heinz Ebert.

## A Terra primitiva: formação de um planeta em camadas

Texto retirado do livro “Para entender a Terra” – p.31 e 32.

Como, a partir de uma massa rochosa, a Terra evoluiu até um planeta vivo, com continentes, oceanos e uma atmosfera? A resposta reside na **diferenciação**: a transformação de blocos aleatórios de matéria primordial num corpo cujo interior é dividido em camadas concêntricas, que diferem umas das outras tanto física como quimicamente. A diferenciação ocorreu nos primeiros momentos da história da Terra, quando o planeta adquiriu calor suficiente para se fundir.

### Aquecimento e fusão da Terra primordial

Para entender a atual estrutura em camadas da Terra, devemos retornar ao tempo em que ela foi exposta aos violentos impactos dos planetesimais e de corpos maiores. O movimento de objetos carrega energia cinemática ou de movimentos. (Pense no modo como a energia do movimento comprime um carro numa colisão). Um planetesimal colidindo com a Terra numa velocidade típica de 15 a 20 km/s liberará uma energia equivalente a 100 vezes o seu peso em TNT<sup>2</sup>. Quando planetesimais e corpos grandes colidiram com a Terra primitiva, a maior parte da energia cinética foi convertida em calor, uma outra forma de energia. A energia de impacto de um corpo, com aproximadamente o dobro do tamanho

de Marte, colidindo com a Terra seria equivalente a explodir vários trilhões de bombas nucleares de 1 megaton (= energia de 1 milhão de toneladas de TNT ou 1.015 cal; uma só dessas grandes bombas destruiria uma grande cidade). Isso seria suficiente para ejetar no espaço uma grande quantidade de detritos e gerar calor suficiente para fundir a maior parte do que restou da Terra.

Muitos cientistas agora pensam que tal cataclismo de fato ocorreu durante os estágios tardios de aquecimento da Terra. O grande impacto criou uma chuva de detritos tanto da terra como do corpo impactante, que se propagou para o espaço. A Lua agregou-se a partir desses detritos (Figura 1). A Terra teria se reconstituído como um corpo em grande parte fundido. Esse monumental impacto acelerou a velocidade de rotação da Terra e mudou seu eixo rotacional, golpeando-o da posição vertical em relação ao seu plano orbital da Terra para a sua atual inclinação de 23<sup>0</sup>. Tudo isso há cerca de 4,5 bilhões de anos, entre o início do período de crescimento da Terra (4,56 bilhões de anos) e a idade das rochas mais antigas da Lua (4,47 bilhões de anos) trazidas pelos astronautas da *Apollo*.

Além do impacto colossal, uma outra forma de calor teria causado a fusão nos primórdios da história da Terra. Vários elementos (urânio, por exemplo) são radioativos, o que significa que se

desintegram espontaneamente com a emissão de partículas subatômicas. Como essas partículas são absorvidas pela matéria do entorno, sua energia de movimento é transformada em calor. calor radioativo teria contribuído para aquecer e fundir

materiais da então jovem Terra. Elementos radioativos, embora apenas presentes em pequenas quantidades, tiveram um efeito considerável na evolução da Terra e continuam a manter o calor interior.

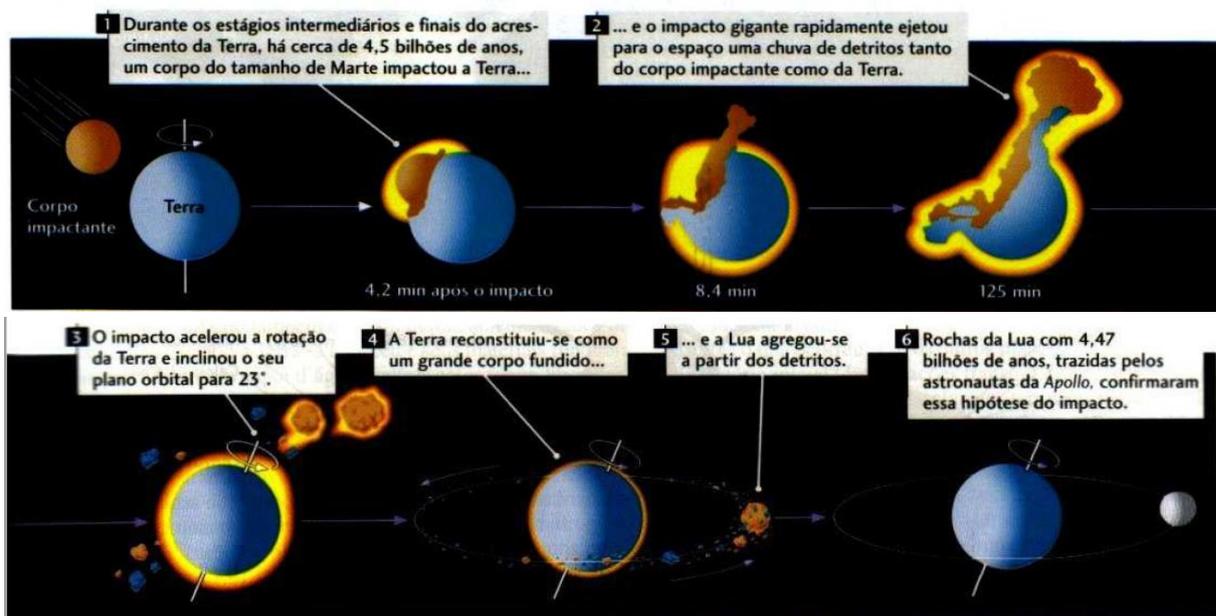


Figura 1: Ilustração de uma simulação computadorizada da origem da Lua por meio do impacto de um corpo do tamanho de Marte. (Solid Earth Sciences and Society, National Research Council, 1993)

## Começa a diferenciação

Embora a Terra provavelmente tenha iniciado com uma mistura não-segregada de planetesimais e outros elementos remanescentes da nebulosa, ela não manteve essa forma durante muito tempo. Uma fusão de grande proporção ocorreu como resultado de um gigantesco impacto. Alguns trabalhos sobre esse tema especulam que cerca de 30 a 60 % da Terra fundiram-se, formando uma camada externa de centena de quilômetros de espessura, a qual chamamos de “oceano de lava” (rocha derretida). Da mesma forma, o interior aqueceu-se até um estado “leve” (menos denso), no qual seus componentes podiam mover-se de um lado para outro. O material pesado mergulhou para o interior

para torna-se o núcleo e o material mais leve flutuou para a superfície e formou a crosta. A emersão do material mais leve carregou consigo calor interno para a superfície, de onde ele poderia irradiar-se para o espaço. Dessa forma, a Terra resfriou-se e grande parte dela solidificou-se e foi transformada em um planeta diferenciado ou zoneado em três camadas principais: um núcleo central e uma crosta externa separados por um manto (Figura 2).

**Núcleo da Terra** O ferro, que é mais denso que a maioria dos outros elementos, correspondia a cerca de um terço do material do planeta primitivo. O ferro e outros elementos pesados, como o níquel, mergulharam para formar o núcleo central. Os cientistas consideram que o núcleo, que começa numa profundidade de cerca de

2.900 km, é líquido na parte externa, mas sólido numa região chamada de núcleo central, que se estende desde uma profundidade de 2.500 km até o centro da Terra, a cerca de 6.400 km. O núcleo interno é sólido porque a pressão dentro é muito alta para o ferro fundir-se (a temperatura em que qualquer material se funde eleva-se com o aumento da pressão).

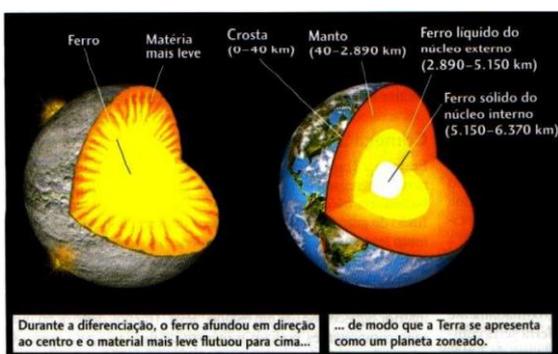


Figura 2: A diferenciação da terra primitiva resultou num planeta zonado com um denso núcleo de ferro, uma crosta de rochas leves e um manto residual entre ambos.

**Crosta da Terra** Outros materiais líquidos e menos densos separaram-se das substâncias geradoras flutuando em direção à superfície do oceano de magma. Aí resfriaram-se para formar a crosta sólida da Terra, uma fina camada externa com cerca de 40 km de espessura. A crosta contém materiais relativamente leves com temperaturas de fusão baixas. A maioria desses materiais, que facilmente se fundem, e composta de elementos de silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, sódio e potássio combinados como oxigênio. Todos eles, com exceção do ferro, estão entre os elementos sólidos mais leves.

Recentemente, no oeste da Austrália, um fragmento do mineral zircão foi datado com idade de 4,3 bilhões a 4,4 bilhões de anos, constituindo-se no mais antigo material terrestre já descoberto. Análises químicas

indicam que ele foi formado próximo à superfície, na presença de água, sob condições relativamente frias. Se essa descoberta for confirmada por dados e experimentos adicionais, podemos concluir que a Terra pode ter resfriado o suficiente para formar uma crosta somente 100 milhões de anos depois de ter se reconstituído do gigantesco impacto.

**Manto da Terra** Entre o núcleo e a crosta encontra-se o manto, uma região que forma a maior parte da Terra sólida. O manto é o material deixado na zona intermediária depois que grande quantidade da matéria pesada afundou e a matéria mais leve emergiu. O manto abrange profundidades que vão desde 40 até 2.900 km. Ele consiste em rochas com densidade intermediária, em sua maioria compostos de oxigênio com magnésio, ferro e silício.

Existem mais de cem elementos, mas as análises químicas das rochas indicam que apenas oito constituem 99% da massa da Terra (Figura 3). De fato, cerca de 90% da Terra consistem em apenas quatro elementos: ferro, oxigênio, silício e magnésio. Quando comparamos a abundância relativa dos elementos constituintes da crosta com sua abundância em relação a toda a Terra, podemos constatar que o ferro soma 35% da massa desta. Devido à diferenciação, entretanto, há pouco ferro na crosta, onde os elementos leves predominam. Assim, as rochas cruciais sobre as quais estamos são constituídas por quase 50% de oxigênio.

#### REFERÊNCIA:

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T.H. *Para entender a Terra*, 4.ed. Tradução: R. Menegat [et al.]. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p..

## O que são os minerais e como identificá-los

### O que é um mineral?

Os minerais são os constituintes básicos das rochas: na maioria dos casos, com ferramentas apropriadas, pode-se separar cada um dos minerais que as constituem. Poucos tipos de rochas, como os calcários, contém apenas um mineral (neste caso, a calcita). Outros tipos, como o granito, são constituídos de vários minerais diferentes. Para identificar e classificar os diversos tipos de rochas que compõem a Terra e entender como se formaram, devemos conhecer os minerais.



Figura 1: Uma rocha é uma ocorrência natural de minerais agregados. (PRESS et al, 2006)

Um mineral é um *sólido homogêneo cristalino*, com *composição química específica*, mas que pode variar dentro de intervalos restritos, formados por *processos naturais inorgânicos*. Assim, cada mineral tem sua forma própria e quando se diz ser *cristalino*, refere-se ao fato de que os átomos que o compõem estão dispostos em um *arranjo tridimensional ordenado e repetitivo*. Os materiais sólidos, que não têm

arranjo ordenado desse tipo, são considerados vítreos ou amorfos (sem forma), não sendo portanto, considerado um mineral. O vidro de janela, como também vidros naturais formados em rochas vulcânicas são exemplos.



Figura 2: Obsidiana: rocha efusiva, formada pelo resfriamento rápido de magmas, formando-se de material essencialmente vítreo.

A composição química e a estrutura cristalina são parâmetros fundamentais e interdependentes. Uma maneira de se começar um processo de cristalização é diminuir a temperatura de um líquido abaixo de seu ponto de congelamento. Assim, o magma – que é uma rocha líquida derretida quente – cristaliza minerais sólidos a medida que se resfria. O diamante e a grafita (que é usada na fabricação de lápis) exemplificam os efeitos dramáticos que a temperatura e a pressão podem exercer sobre a cristalização de minerais. Esses dois minerais são polimorfos, ou seja, estruturas alternativas de um único composto químico. Ambos são formados por carbono, têm diferentes estruturas cristalinas e sua aparência é, também, bastante diversa.

Por serem *formados por processos naturais*, são excluídas substâncias sintéticas ou artificiais, mesmo quando apresentam características de seus equivalentes naturais. O gelo das geleiras, por exemplo, é um

mineral, já o gelo produzidos em refrigeradores é um equivalente sintético do gelo natural.



Figura 1: O rubi é uma variedade do mineral coríndon (óxido de alumínio) cuja cor é causada principalmente pela presença de cromo. Os rubis naturais são excepcionalmente raros (a), mas produzem-se rubis artificialmente desde 1885, que são comparativamente mais baratos (b).

Por serem *inorgânicos*, estão excluídas substâncias cristalinas biogênicas. Por exemplo, as conchas carbonáticas que encontramos que encontramos nas praias podem ter a mesma composição química e a mesma estrutura cristalina do mineral calcita, mas não são consideradas minerais por serem formadas pelo metabolismo de organismo.



Figura 2: O mineral calcita é encontrado nas conchas de muitos organismos como os foraminíferos. (PRESS et al, 2006)

## Como se formam os minerais?

Os minerais formam-se pelo processo de *cristalização*, que é o crescimento de um sólido a partir de um gás ou líquido cujos átomos constituintes agrupam-se. A seguir são representados aspectos de cada tipo de

processo de formação:

**Cristalização magmática:** uma maneira de se começar um processo de cristalização é diminuir a temperatura de um líquido abaixo de seu ponto de congelamento. A cristalização dos magmas não é homogênea; minerais estáveis a temperaturas mais elevadas se cristalizam primeiro e à medida que a temperatura cai, outros minerais se cristalizam.



Figura 3: Granito: formado por diferentes minerais que cristalizam-se a diferentes temperaturas.

**Precipitação a partir de soluções saturadas:** a cristalização de minerais pode acontecer devido a precipitação, isto é, a partir de uma solução saturada, a evaporação faz com que cristais se depositem.

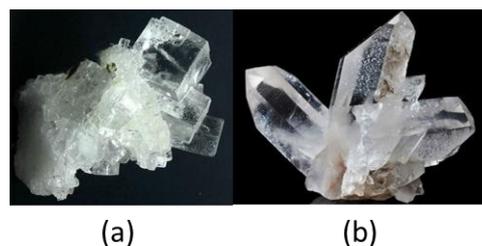


Figura 4: (a) Mineral halita (NaCl) formado a partir da precipitação de uma solução salina, a baixa temperatura; (b) Cristais do mineral quartzo (SiO<sub>2</sub>): formados a partir de soluções aquosas hidrotermais nas cavidades das rochas.

**Reações nos minerais, mesmo em estado sólido:** Variações na condições de pressão e temperatura podem levar a reações no mineral no estado sólido, sem que haja fusão ou dissolução do mineral original.

## Como identificar os minerais?

A identificação macroscópica dos minerais, isto é, a olho nu, utiliza das propriedades física das rochas, como também seu comportamento quando atacado pelo ácido clorídrico diluído e a frio. São muitas as propriedades a examinar. Cada espécie, porém, tem aquelas que lhe são mais típicas. Para algumas é fundamental a cor. Para outras, densidade, cor e brilho. Algumas têm como propriedade diagnóstica o magnetismo ou a clivagem (calcita, micas etc.). A prática ensina o que cada espécie tem de mais característico.

As propriedades destacadas neste trabalho serão:

**COR:** Alguns minerais têm cor variável (minerais alocromáticos), mas outros têm sempre a mesma cor (minerais idiocromáticos). A cor deve ser observada numa superfície fresca, como a de uma fratura recente. A cor de alguns minerais altera-se facilmente devido, por exemplo, por oxidação. Ela é determinada pelos tipos de átomos e por traços de impurezas. Muitos cristais com ligações iônicas são incolores. A presença do ferro tende a produzir forte coloração.

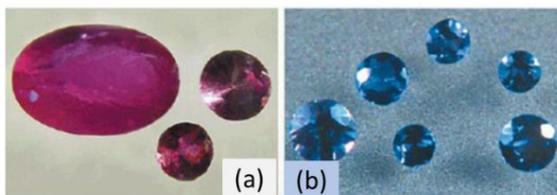


Figura 5: O coríndon é alocromático, em cores diversas. A variação nas suas cores deve-se as “impurezas” que agregam-se a sua composição. O coríndon de coloração vermelha é chamado de rubi

(a), o de coloração azul é chamado de safira (b).

O modo como a superfície de cada mineral reflete a luz confere-lhe uma propriedade característica. O brilho é controlado pela pelos tipos de átomos presentes e pelas suas ligações, sendo que esses dois fatores afetam a maneira como a luz passa através do mineral ou é refletida por ele.

BRILHO	CARACTERÍSTICAS
Metálico	Reflexões fortes produzidas por substâncias opacas
Vítreo	Brilhante como o do vidro
Resinoso	Característico das resinas, como o âmbar
Graxo	Como se estivesse recoberto por uma substância oleosa
Nacarado	É a iridescência esbranquiçada de alguns minerais como a pérola
Sedoso	O lustro dos materiais fibrosos, como a seda
Adamantino	O brilho intenso do diamante e de minerais parecidos.

Tabela 1: Brilho dos minerais. (PRESS et al, 2006)

**TRAÇO:** É a cor do pó obtido ao se riscar o mineral contra uma placa de porcelana. Esta propriedade é útil para se identificar minerais opacos, que em geral apresentam traço colorido. A maioria dos minerais translúcidos tem traço incolor.



Figura 6: Traço castanho avermelhado da hematita em placa de porcelana

**HÁBITO:** Forma habitual exibida pelos minerais em decorrência de sua estrutura cristalina. Alguns minerais têm forma característica que auxiliam em sua identificação. Entretanto, nem todos os minerais têm hábito característico que possa ser usado em sua identificação.



Figura 7: Alguns exemplos de hábito cristalino: (a) Laminar (mica); (b) Fibroso (Crisotilo); (c) Prismático (Quartzo)

**DUREZA:** É a resistência do material ao ser riscado. Fortes ligações químicas resultam em alta dureza. Para classificá-la, utiliza-se a escala de dureza de Mohs. Ela é uma escala de dureza relativa. Portanto, é importante lembrar que a dureza 4,0 não é o dobro da dureza 2,0, assim a apatita não tem metade da dureza do diamante. Nessa escala, a dureza não tem um crescimento uniforme e entre aos valores 9,0 e 10,0 a diferença é muito maior que entre 7,0 e 8,0 ou entre 3,0 e 4,0, por exemplo. É fundamental também saber que alta dureza é alta resistência ao risco, mas não alta resistência à fratura, torção ou deformação. O mineral difícil de quebrar, torcer ou amassar tem alta tenacidade, não alta dureza. O diamante tem dureza altíssima, mas baixa tenacidade.

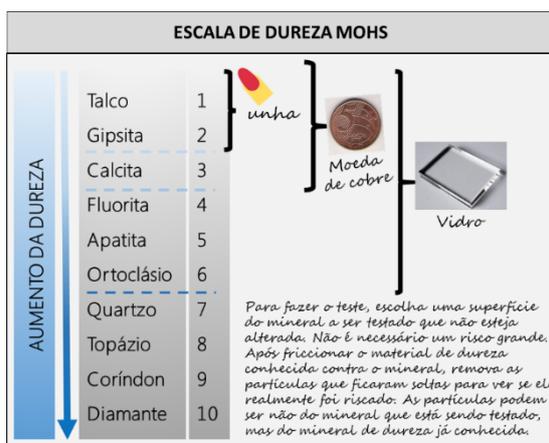


Figura 8: Escala de dureza Mohs: baseia-se na facilidade com que um mineral risca o outro, tendo no extremo da escala o mineral mais mole (talco) e o mais duro (diamante).

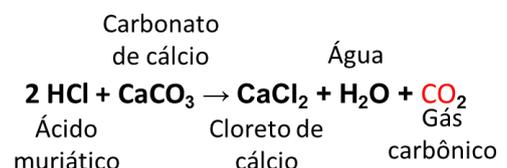
Não estranhe a presença do talco nessa lista.

Ele também é um mineral. A apatita é a substância que forma o esmalte dos nossos dentes e nada é mais duro que ela no nosso organismo. Ortoclásio é um dos vários tipos de feldspato. Coríndon é uma espécie mineral que tem duas variedades famosas, o rubi e a safira.

**FLUORESCÊNCIA:** Fluorescência é a luminosidade emitida por uma substância quando está sob a ação de uma radiação invisível, como raios X ou luz ultravioleta. Um cristal de calcita colocado num ambiente escuro e sob a ação de luz ultravioleta deveria permanecer escuro, uma vez que essa luz é invisível aos olhos humanos. Entretanto, ele fica alaranjado, pois é fluorescente.

**MAGNETISMO:** Alguns minerais são atraídos por um ímã de mão, o que ajuda na sua identificação. Dois exemplos são a magnetita (daí vem a palavra magnetismo) e a pirrotita.

**REAÇÃO AO ÁCIDO CLORÍDRICO:** Consiste em pingar uma gota de ácido clorídrico diluído (HCl) no mineral para ver se ele efervesce. A efervescência indica que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) está escapando, o que significa que o mineral em questão é provavelmente a calcita, um carbonato.



**DENSIDADE:** Depende do peso atômico dos átomos e da proximidade do seu empacotamento na estrutura cristalina. Há minerais muito leves, como a epsomita (densidade 1,70 g/cm<sup>3</sup>), e outros muito pesados, como o ouro (19,30 g/cm<sup>3</sup>). Os escuros e de brilho metálico costumam ser

pesados.

#### REFERÊNCIAS:

BRANCO, P. de M. *Como identificar os Minerais*. Rede de bibliotecas – Rede Ametista. CPRM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Como-Identificar-os-Minerais-1042.html>. Acesso em: 13 dez. 2019.

MUSEU DE MINERAIS, MINÉRIOS E ROCHAS HEINZ EBERT. Disponível em: <https://museuhe.com.br/>

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T.H. *Para entender a Terra*, 4.ed. Tradução: R. Menegat [et al.]. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*, 2.ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. 623 P.

## APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Objetivo:

Utilizar das novas concepções adquiridas para entender os processos geológicos ocorridos na formação das rochas, além da compreensão de que nosso planeta vive em constante processo de transformação.

Retomada dos questionamentos abordados durante a problematização inicial:

1. Apresentação do vídeo “**O ciclo das rochas**”, disponível no link <https://www.youtube.com/watch?v=wLizDKr7zj0>.

*Dica: Inicie o vídeo a partir do instante 1:32 min.*

- A partir do vídeo, enfatize com os alunos a respeito de como a composição e o processo de formação das rochas influem sobre o valor de sua densidade. Esta discussão é importante por servir como introdução à problematização do próximo capítulo.



Ciclo das Rochas

Fonte: *Print screen* da página do Youtube.

## CAPÍTULO 4

A aceleração gravitacional e sua variação devido a distribuição de massa no planeta

## PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

### Objetivo:

Problematizar a respeito da relação entre a composição do planeta e a possibilidade de variação da gravidade devido a variação de massa.

### Questões e atividades sugeridas para a discussão:

1. Utilizando da AC abordada no capítulo anterior, proponha uma nova problematização:
  - *Seria possível haver mais massa sobre uma região? Ou a distribuição de massa da Terra é homogênea?*
  - *Supondo a distribuição não homogênea, a força gravitacional naquele ponto seria maior?*

## ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Objetivo:

Abordar a grandeza física densidade, relacionando-a aos constituintes e a porosidade dos diferentes tipos de rochas.

### Estratégias sugeridas:

1. Aborde a equação para a grandeza física densidade, explorando as relações de proporcionalidade entre massa e volume de um corpo.
2. Para contribuir com entendimento das relações discutidas acima, proponha aos alunos a prática experimental “**Medindo a densidade das rochas**”, com roteiro disponível na próxima seção.

*Dica: Anteriormente a efetuação das medidas, discuta com os alunos as repostas apresentadas na **problematização preliminar** sugerida. Entender como efetuar a medida dos sólidos irregulares é fundamental para o desenvolvimento da prática.*

## Materiais sugeridos

Nome: \_\_\_\_\_

Série/Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

### PRÁTICA EXPERIMENTAL: Medindo a densidade das rochas

#### INTRODUÇÃO

A densidade dos corpos pode ser calculada através da equação

$$d = \frac{m}{V}$$

onde  $m$  é a massa de um corpo e  $V$  é o seu volume.

Quando tratamos das rochas, dois parâmetros influenciam diretamente em seu valor, sendo eles a sua composição mineralógica e sua porosidade.

Em relação às rochas ígneas e metamórficas, a composição é o fator predominante. Para as rochas sedimentares, a porosidade - entendida como a percentagem de um volume de rocha que consiste em poros abertos entre os grãos - é fundamental e está diretamente relacionada ao tipo de sedimento que compõe a rocha e de quão compactados estes grãos foram devido ao soterramento sofrido.

#### OBJETIVOS

- Determinar a densidade de diferentes tipos de rochas;
- Observar os motivos que podem levar a diferença nas rochas: ênfase nos constituintes (minerais) e na porosidade.
- Analisar a influência de um corpo denso sobre o valor da força gravitacional.

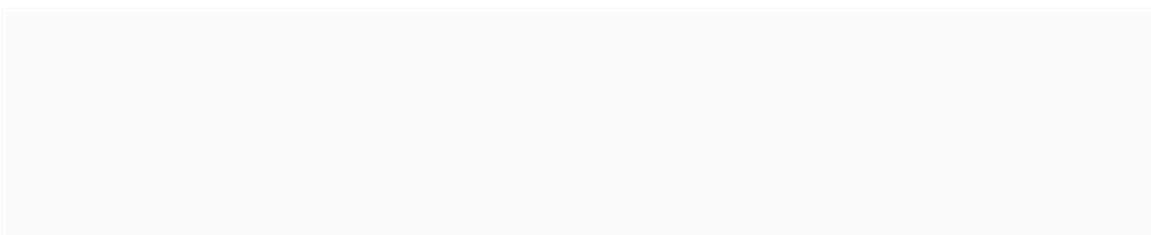
#### MATERIAIS

- Béquer
- Balança
- Amostras de diferentes tipos de rocha

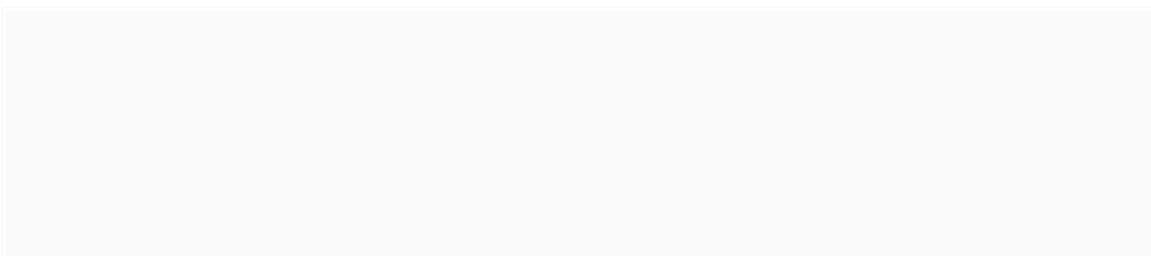
---

## PROBLEMATIZAÇÃO PRELIMINAR

1. Se você colocar água em um recipiente e introduzir nele um objeto, verá o nível da indicação do volume d'água no recipiente aumentar. Você pode dizer que o volume de água aumentou? Explique o que ocorre.



2. Essa situação seria uma forma de medir volume de corpos irregulares?



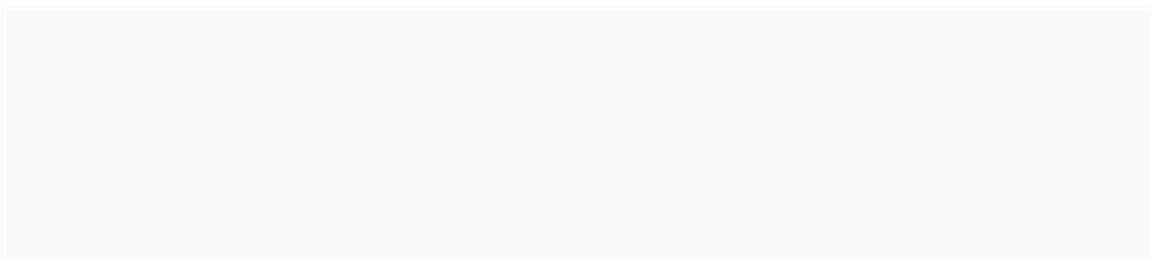
## DESENVOLVIMENTO

I. Meça a massa de cada amostra, utilizando da balança;

II. Utilizando o béquer, tome nota, em seu relatório, do volume medido no recipiente antes e depois de submergimos a amostra completamente.

Observe, a partir dos valores medidos até o momento:

3. Volumes iguais de amostras diferentes correspondem sempre ao mesmo valor de massa? E vice-versa: massas iguais de amostras diferentes correspondem sempre a volumes iguais? Comente o que você observou.



III. Calcule a densidade de cada amostra.

IV. Observando cada uma das amostras, indique no quadro as características que julgar relevante para o valor de densidade encontrado. *(A tabela de minerais, analisados na atividade anterior, continua disponível)*

<b>Amostra</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Volume inicial (mL)</b>	<b>Volume final (mL)</b>	<b>Densidade (g/mL)</b>	<b>Características observadas</b>

- 1mL=1cm<sup>3</sup>

## APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Objetivo:

Utilizar das novas concepções para relacionar a variação da gravidade terrestre à densidade das rochas em subsuperfície.

Retomada dos questionamentos abordados durante a problematização inicial:

1. Retome os questionamentos iniciais, a partir da resolução da **situação-problema** sugerida, envolvendo a medida da gravidade sobre um corpo de minério.
  - Ressalte como o corpo de minério é mais denso devido a sua composição rica em ferro, fazendo com que haja um excesso de massa sobre essa região, causando um aumento da gravidade em relação ao entorno.

## Materiais sugeridos

Nome: \_\_\_\_\_

Série/Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

### SITUAÇÃO-PROBLEMA: A gravidade e o corpo de minério de ferro

1. Suponha que a figura abaixo represente determinada faixa do subsolo, sob determinada região.



- a) O que poderíamos supor a respeito da densidade do corpo de minério de ferro e o entorno?

Área reservada para a resposta da pergunta a).

- b) Em relação a força gravitacional, ela poderia ser maior, menor ou igual sobre a região do corpo de minério? Exponha as suas ideias.

Área reservada para a resposta da pergunta b).

## CAPÍTULO 5

Princípio da flutuabilidade e sua aplicação  
em subsuperfície

## PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

### Objetivo:

Problematizar a respeito da variação da gravidade sobre a Cordilheira dos Andes.

### Questões e atividades sugeridas para a discussão:

1. Apresente o mapa de anomalia gravimétrica da América do Sul (**figura 7**), seguido da pergunta:

- *Utilizando das ideias desenvolvidas anteriormente, se você tivesse que supor em qual lugar da Terra a gravidade seria menor, escolheria o alto de uma cordilheira?*

*Dica: Discuta com os alunos sobre o que esperar da variação da medida da gravidade sobre as cordilheiras mais altas do planeta, como a dos Andes e a do Himalaia. É esperado que os alunos suponham um valor menor para a gravidade devido ao distanciamento do centro da Terra.*

2. Posteriormente a discussão acima, exponha aos alunos o pequeno texto sugerido abaixo:

“Por volta de 1735, Pierre Bouguer estava realizando uma expedição pelas Cordilheiras do Andes, tendo como um dos objetivos analisar a gravidade em diferentes pontos do planeta. Foi de muito espanto para o cientista notar que o valor da gravidade ali ERA BEM MENOR DO QUE O ESPERADO! Extrapolando o valor esperado devido ao distanciamento do centro da Terra. Um século depois, George Everest fez a mesma observação nos Himalaias.”

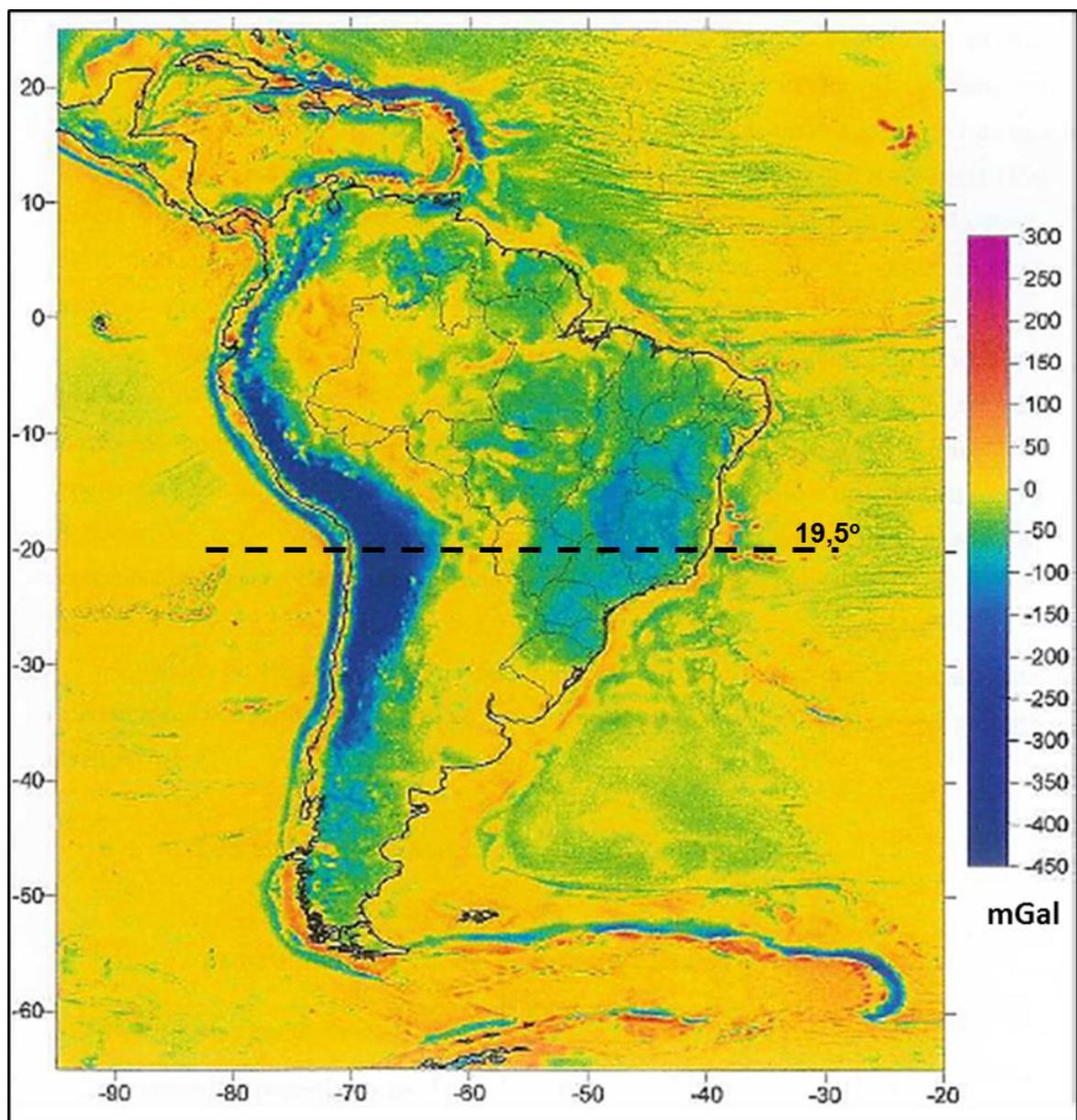
3. Continue problematizando a partir das seguintes perguntas:

- *Seriam essas montanhas formadas por rochas com densidade tão diferente das demais?*
- *Haveria algum sentido geológico nisso?*

## Materiais sugeridos

Figura 7:

Mapa de anomalias gravimétricas da América do Sul. Note a forte anomalia gravimétrica negativa na região das Cordilheiras dos Andes.



Fonte: SÁ, 2004.

# ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

## Objetivo:

Abordar a grandeza física empuxo e sua relação com o volume e tipo de líquido deslocado por um corpo submerso. Abordar a relação entre a densidade de um corpo e o princípio da flutuabilidade.

## Estratégias sugeridas:

1. Aborde a grandeza física empuxo, enfatizando como sua intensidade está diretamente relacionada ao volume de líquido deslocado por um objeto. A partir da equação, discuta de que maneira a densidade do líquido deslocado influenciará em seu valor.
  - Dando suporte as ideias desenvolvidas, sugerimos o uso do **simulador Parque da Flutuabilidade**, do projeto Phet – Interactive Simulations, disponibilizado no link:

[https://phet.colorado.edu/sims/density-and-buoyancy/buoyancy\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/density-and-buoyancy/buoyancy_pt_BR.html)



Fonte: *Print screen* da página do Phet Interactive Simulations.

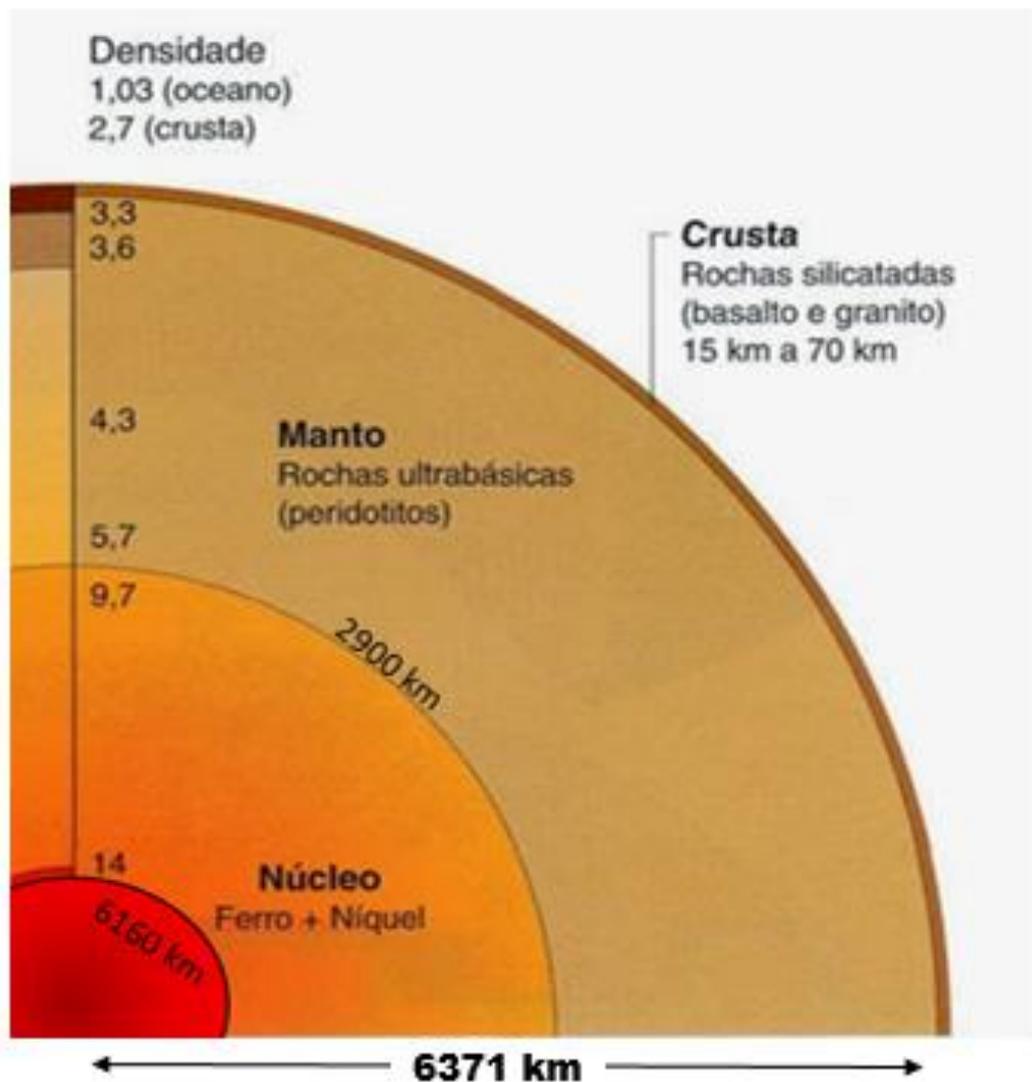
- Para a atividade virtual, utilize o roteiro sugerido **“Prática virtual: Parque da Flutuabilidade”**.

2. Desenvolva com os alunos as relações matemáticas que definem a flutuabilidade de um corpo em função da relação entre a densidade do corpo e densidade do fluido. Aborde as três relações existentes entre a densidade de ambos, e como elas ditam a flutuabilidade de um corpo em determinado fluido.
3. A partir da **figura 8**, comece uma discussão sobre as diferentes densidades entre as camadas do planeta.
  - Destaque a diferença entre as densidades da crosta e do manto, dando ênfase também a diferença entre os estados físicos das duas camadas, a crosta sólida e rígida e o manto com seu comportamento plástico.

## Materiais sugeridos

Figura 8:

As camadas da Terra e seus valores médios de densidade.



Fonte: LADEIA, R., 2017.

Nome: \_\_\_\_\_

Série/Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

## PRÁTICA VIRTUAL: Parque da Flutuabilidade

### INTRODUÇÃO

A força de empuxo exercida sobre um corpo em um fluido depende diretamente do volume de fluido deslocado por ele. Dessa maneira, podemos mensurar o valor dessa força a partir da seguinte relação:

$$E = d_{LD} \cdot g \cdot V_{LD}$$

onde  $d_{LD}$  é a densidade do líquido deslocado,  $g$  é a gravidade local e  $V_{LD}$  é o volume de líquido deslocado.

A partir da relação entre empuxo e o peso do líquido deslocado pelo corpo, podemos estimar se o corpo mergulhado irá flutuar quando submerso, flutuar totalmente submerso ou tocará o fundo do recipiente em que o fluido está contido.

### OBJETIVOS

- Analisar a relação entre volume do corpo submerso e valor da força de empuxo.
- Analisar a relação entre o volume do corpo submerso e a densidade do líquido.
- Analisar a relação entre a densidade do objeto e a densidade do líquido para a flutuação de um corpo.

### MATERIAL

- Acesse: [https://phet.colorado.edu/sims/density-and-buoyancy/buoyancy\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/density-and-buoyancy/buoyancy_pt_BR.html)

A PARTIR DO SIMULADOR, ANALISE AS SITUAÇÕES PROPOSTAS:

- I. Na aba INTRO, selecione todas as opções na caixa Mostrar forças (lateral direita).

- II. Na lateral esquerda, selecione cada uma das opções (Massa, Volume e Densidade) para Blocos e analise as diferenças entre elas.

*A que conclusão você consegue chegar?*

- III. Coloque o bloco de metal dentro da piscina.

*Por que o volume dela varia? O que podemos concluir?*

- IV. Coloque o bloco de tijolo sobre a balança do lado de fora do líquido e anote este valor. Agora coloque o mesmo bloco sobre a balança submersa.

*Ocorreu alguma diferença? Que conclusões você consegue tirar desse resultado?*

- V. Coloque o bloco de madeira dentro da piscina. Tente afundá-lo. Repare no valor da força de empuxo.

*Por que não conseguimos deixá-lo submerso?*

*O que podemos concluir sobre a variação observada no valor da força de empuxo? Em qual situação acontece o equilíbrio?*

*O que podemos concluir sobre o valor da força de contato?*

MUDE A ABA, NA LATERAL ESQUERDA, PARA PARQUE DA FLUTUABILIDADE:

- VI. Selecione como material para o bloco, a opção madeira. Altere o volume do bloco para 10L. Na caixa Densidade do fluido, varie lentamente o tipo de líquido. Você irá perceber que o volume do bloco que permanece submerso irá variar.

*Como você explicaria esse fato? O valor da força de empuxo mudará?*

## APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Objetivo:

Utilizar das novas concepções para compreensão do uso de propriedades físicas nas investigações geológicas

### Retomada dos questionamentos abordados durante a problematização inicial:

1. Retome os questionamentos iniciais a partir da resolução da **situação-problema** sugerida, envolvendo o princípio da fluabilidade e a relação entre manto e crosta terrestre.
  - Ressalte a relação de fluabilidade da crosta sobre o manto. Enfoque com os alunos a proporção de volume emerso e imerso da crosta sobre a região da Cordilheira, comparando a espessura crustal nas demais regiões.  
*Dica: Faça um comparativo entre crosta e manto com um iceberg flutuando no oceano.*
  - Discuta com os alunos a deficiência de massa sobre a Cordilheira, devido a diferença de densidade entre crosta e manto, alterando significativamente o valor da gravidade sobre essa região.
2. Aborde com os alunos a relação entre o processo de erosão e o soergimento da crosta terrestre para que ocorra equilíbrio, utilizando a **figura 9**.
  - Enfatize como a diminuição da porção na crosta terrestre acarreta também na diminuição na porção inserida no manto.
  - Discuta com os alunos como o soergimento da crosta propicia que rochas formadas a grandes profundidades estejam expostas a superfície atualmente.

## Materiais sugeridos

Figura 9:

Esquema de ilustrações e dados a respeito do soerguimento da crosta continental devido aos processos de erosão ocorridos na superfície, acarretando também na diminuição na porção inserida no manto. O Morro do Pão de Açúcar e o Morro da Urca são exemplos de rochas soerguidas à superfície.

Mantendo essa mesma linha de raciocínio...



**O Corcovado e o Morro do Pão de Açúcar, no Rio de Janeiro, é um exemplo!**



Estas rochas estavam a mais de 20 km de profundidade!

Sua origem está relacionada ao evento de colisão continental que formou o Gondwana há cerca de 570 milhões de anos.

**Como pode-se suportar tamanha profundidade?**

Essas rochas são gnaisses facoidais e sua formação envolve condições de ALTA PRESSÃO E TEMPERATURA, compatíveis apenas com as existentes a MAIORES PROFUNDIDADES

Fonte: Modificado de ROSSELYNE (c2011); SOLDON .

Nome: \_\_\_\_\_

Série/Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

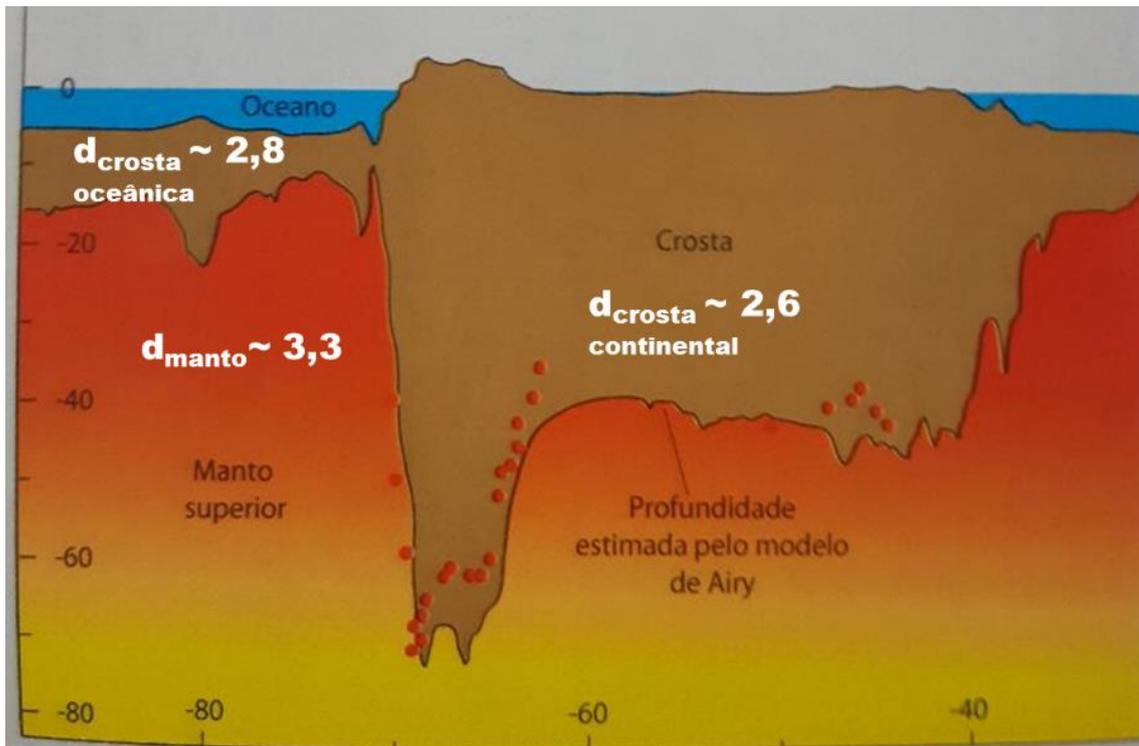
**SITUAÇÃO-PROBLEMA: A gravidade sobre as Cordilheiras**

1. A figura de SÁ (2004), trata-se do modelo para a espessura crustal gravimétrica da América do Sul.

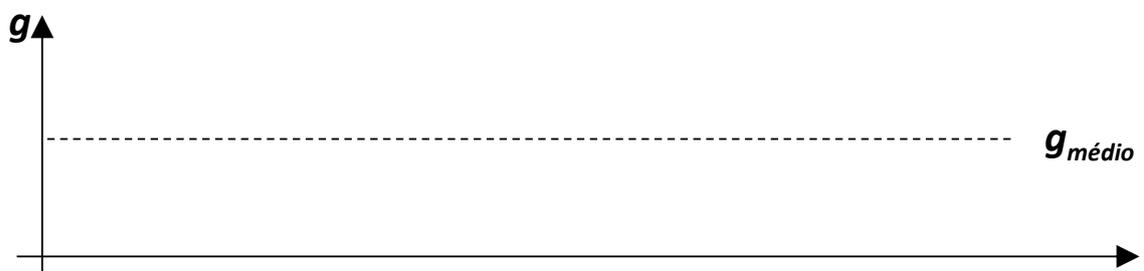
Como você explicaria o espessamento crustal na parte oeste do continente Sul americano? Justifique a sua resposta.

2. Analisando a figura, esboce um gráfico representando a gravidade e suas variações sobre esse corte. Comente suas ideias.

Dica: QUAL SERÁ A RELAÇÃO DESSA GRANDE PROFUNDIDADE COM A GRAVIDADE?



Fonte: SÁ, 2004.



# CAPÍTULO 6

## Medida da gravidade e a queda livre dos corpos

## PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

### Objetivo:

Problematizar a respeito dos possíveis métodos para se medir a gravidade.

### Questões e atividades sugeridas para a discussão:

1. Destaque para os alunos como as medidas da gravidade podem ser úteis para o entendimento do interior do planeta. Em seguida, problematize sobre como podemos efetuar a medida de seu valor sobre determinada região.

Das ideias desenvolvidas até agora, as medidas da gravidade estão se mostrando cada vez mais importantes.

- *Mas, como descobrir o valor de  $g$ ?*

## ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Objetivo:

Abordar a medição absoluta do valor da gravidade a partir da queda livre dos corpos.

### Estratégias sugeridas:

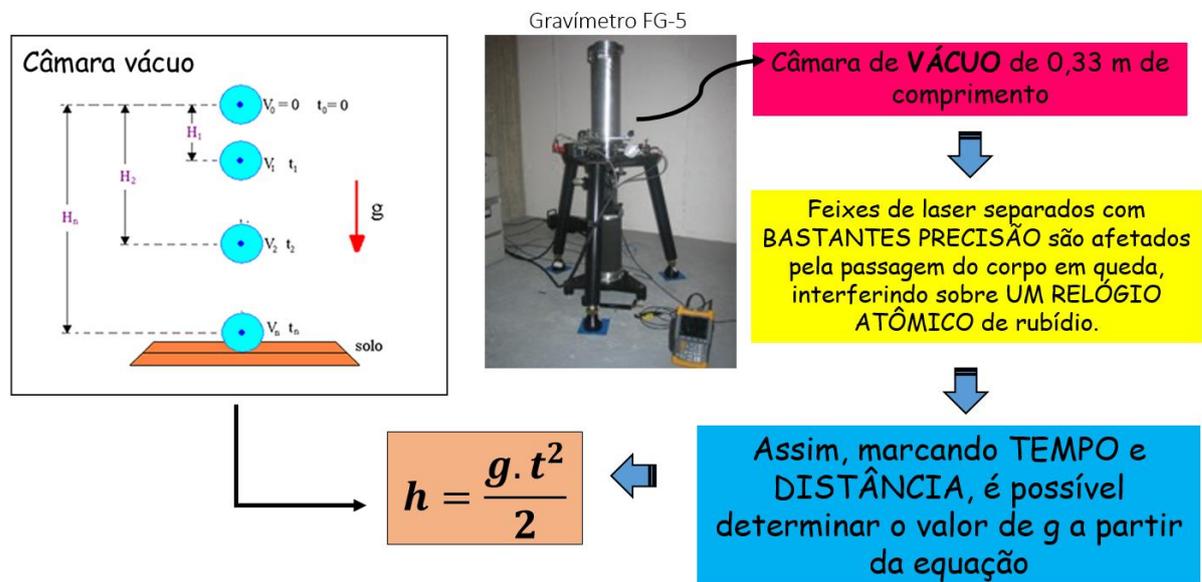
1. Aborde com os alunos a respeito da queda livre dos corpos. Exponha de maneira dialógica a relação da queda livre com o movimento retilíneo uniformemente variado, descrevendo a função da posição no tempo.
  - Enfoque a natureza da grandeza física gravidade como a aceleração da queda livre, enfatizando a diferença entre os conceitos de gravidade e atração gravitacional.
2. A partir das informações contidas na **figura 10**, aborde com os alunos a respeito dos gravímetros absolutos, instrumentos utilizados pelos geofísicos para efetuar o valor da gravidade local.
  - Discuta como os aparatos usados no gravímetro absoluto são rebuscados, como a câmara à vácuo e o relógio atômico.
  - Aproveite para discutir a influência da resistência do ar sobre a queda dos corpos, a partir da necessidade de vácuo na câmara do gravímetro.
3. Para contribuir com entendimento das relações discutidas acima, proponha aos alunos a prática experimental “**Medindo o valor da gravidade**”, com roteiro disponível na próxima seção.

## Materiais sugeridos

Figura 10:

Esquema de ilustrações e dados abordando os gravímetros absolutos, que usam da queda livre para a medir a gravidade.

### A QUEDA LIVRE



Fonte: CASTRO JUNIOR et al., 2018; SILVA [20--].

Nome: \_\_\_\_\_

Série/Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

**PRÁTICA EXPERIMENTAL: Medindo o valor da gravidade****INTRODUÇÃO**

A medida do valor da gravidade em determinado local pode ser feita a partir da equação para a queda livre dos corpos, dada por:

$$h = g \frac{t^2}{2}$$

onde  $h$  é a distância percorrida durante a queda a partir do instante em que o corpo é solto,  $t$  é o tempo gasto para percorrer essa distância e  $g$  é o valor da gravidade local.

Consideramos que um corpo está em queda livre quando não há força de resistência do ar atuando sobre ele, considerando apenas a atuação da força peso.

**OBJETIVOS**

- Calcular o valor da gravidade.
- Observar as dificuldades encontradas para a precisão dessa medida.

**MATERIAIS**

- 1 bolinha metal
- 1 folha de cartolina
- 1 régua
- 2 celulares: 1 para servir de cronômetro e o outro para filmagem em câmera lenta

**DESENVOLVIMENTO**

- I. Divida a folha de cartolina em 3 partes iguais, de intervalos de  $0,2m$ .
- II. Posicione o celular para a filmagem, de maneira a aparecer toda a cartolina e o cronômetro.
- III. Dispare o cronômetro e, em seguida, solte a bolinha.

- IV. Utilizando da função “*filmagem em câmera lenta*” para a análise do vídeo gravado, preencha a coluna do tempo da tabela *Queda 1*.
- V. Repita novamente o experimento de queda da bolinha, utilizando o mesmo procedimento acima para o preenchimento da tabela *Queda 2*.
- VI. Na coluna  $\Delta t$ , diminua o tempo inicial do cronômetro pelo tempo verificado no vídeo.
- VII. Utilize a equação da queda livre para calcular o valor de  $g$  em cada posição referida na tabela.
- VIII. Some os valores de  $g$  encontrados na tabela e dividindo esse resultado por 3, de maneira a encontrar um valor médio para essa grandeza.

<b>Queda 1</b>			
<b>Posição (m)</b>	<b>Tempo (s)</b>	<b><math>\Delta t = t - t_0</math></b>	<b><math>g \text{ (m/s}^2\text{)}</math></b>
0	$t_0 =$		
0,2			
0,4			
0,6			
<b>g médio</b>			

<b>Queda 2</b>			
<b>Posição (m)</b>	<b>Tempo (s)</b>	<b><math>\Delta t = t - t_0</math></b>	<b><math>g \text{ (m/s}^2\text{)}</math></b>
0	$t_0 =$		
0,2			
0,4			
0,6			
<b>g médio</b>			

## APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Objetivo:

Utilizar das novas concepções para compreensão do funcionamento de equipamentos reais de medida da aceleração gravitacional.

### Retomada dos questionamentos abordados durante a problematização inicial:

1. Peça que os alunos divulguem para turma os resultados encontrados na prática experimental. Discuta a margem de imprecisão dos resultados, questionando os prováveis motivos para tal.
2. De maneira a introduzir a discussão do próximo tema, peça que os alunos respondam e, posteriormente, compartilhem suas respostas às **questões propostas** na próxima seção.

## Material sugerido

Nome: \_\_\_\_\_

Série/Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

### QUESTÕES PROPOSTAS A PARTIR DA PRÁTICA EXPERIMENTAL

1. Como você definiria a precisão do seu resultado? E, qual(is) fator(es) interferiram consideravelmente sobre a sua precisão?

2. Voltando a época de Galileu (por volta de 1600), como você acha que eram feitas as medidas de tempo pelos cientistas da época? Seria um delimitador na precisão da medida de gravidade?

3. Você acha que utilizando desse experimento, com acessórios simples, conseguiríamos perceber variações no valor da gravidade terrestre, como os discutidos até aqui?

# CAPÍTULO 7

## Medida da gravidade e a balança

## PROBLEMATIZAÇÃO INICIAL

### Objetivo:

Problematizar a respeito das possíveis dificuldades encontradas nas medidas de queda livre, como também outras possibilidades para se medir a diferença no valor da gravidade.

### Questões e atividades sugeridas para a discussão:

1. Leitura do texto “**As dificuldades encontradas para as medidas absolutas da gravidade.**”
  - Enfoque com os alunos sobre a necessidade de precisão nas medidas de gravidade, já que sua variação é extremamente pequena.
  - Discuta sobre a real necessidade se conhecer a gravidade absoluta para a investigação do subsolo, ou se apenas sua variação poderia contribuir para ela.
2. A partir do texto, problematize com os alunos sobre outras possibilidades de se aferir a gravidade em determinado local, sem tamanha imprecisão.
  - *Haveria outra maneira mais simples de medirmos a gravidade?*
  - *O que mede uma balança?*

## Material sugerido

## As dificuldades encontradas para as medidas absolutas da gravidade

Não é descomedido dizer que a física, tal como a definimos agora, começou com as medidas da gravidade, através da queda livre dos corpos. Galileu, Newton, Descartes e outros, pensaram nos mais variados tipos de experimentos, tentando medidas precisas de seus valores. A grande dificuldade, na época, era medir com precisão o tempo. Com o desenvolvimento dos RELÓGIOS ATÔMICOS, que usam de certas propriedades dos átomos, o segundo se tornou a unidade de medida mais precisa, já havendo estudos para a construção, inclusive no Brasil, de um modelo mais avançado, em que a margem de erro é de apenas UM SEGUNDO A CADA TRÊS BILHÕES DE ANOS.

Apesar disso, as medidas da aceleração gravitacional usando da medida do tempo, chamadas ABSOLUTAS, como a queda livre, ainda incluem APARATOS DELICADOS e um período mais longo de observação. Por isso, na maioria dos levantamentos gravimétricos, é usado a medição de VALORES RELATIVOS PARA A GRAVIDADE, ISTO É, A DIFERENÇA ENTRE A GRAVIDADE EM DOIS LOCAIS.

### REFERÊNCIA:

CASTRO JUNIOR, C. A. C. e; GUIMARÃES, G. N.; FERREIRA, N. C. Evolução da infraestrutura gravimétrica no Brasil. V. 37. Revista Geociências. São Paulo. V. 37. n. 2. p. 361 – 384. 2018.

Disponível em: <[https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/37/volume37\\_2\\_files/37-2-artigo-10.pdf](https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/37/volume37_2_files/37-2-artigo-10.pdf)> Acesso em: 13 Fev. 2019.

TUBOY, A. M. *et al.* O relógio atômico brasileiro. Fev. 2009. Disponível em:

<<http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/mecanica/pesquisahoje/cap3/defaultframebaixo.htm>>. Acesso em: 13 Fev. 2019.

## ORGANIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Objetivo:

Abordar a relação entre a deformação de uma mola e a força gravitacional. Analisar a relação entre o valor para a massa, dado por uma balança, e o valor de  $g$ .

### Estratégias sugeridas:

1. Aborde a força elástica e o equilíbrio dos corpos em um sistema massa-mola.
  - Explore a relação entre a deformação da mola e a força gravitacional, chegando a relação matemática usada nas balanças para aferir a massa de um corpo.
2. Para contribuir com entendimento das relações discutidas acima, proponha aos alunos a prática experimental “**A gravidade e a deformação de uma mola**”, com roteiro disponível na próxima seção.

## Material sugerido

Nome: \_\_\_\_\_

Série/Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

### PRÁTICA EXPERIMENTAL: A gravidade e a deformação da mola

#### INTRODUÇÃO

Para que um objeto entre em equilíbrio quando pendurado em uma mola, é necessário que a força elástica exercida pela mola tenha a mesma intensidade que a força peso. Relacionando ambas as equações podemos chegar em uma relação que possibilita encontrarmos o valor de qualquer massa pendurada nessa mola através da equação abaixo:

$$m = k \frac{\Delta x}{g},$$

onde  $m$  é a massa que se deseja medir,  $k$  é a constante da mola,  $g$  é o valor da gravidade local e  $\Delta x$  é a deformação causada no comprimento da mola.

#### OBJETIVOS

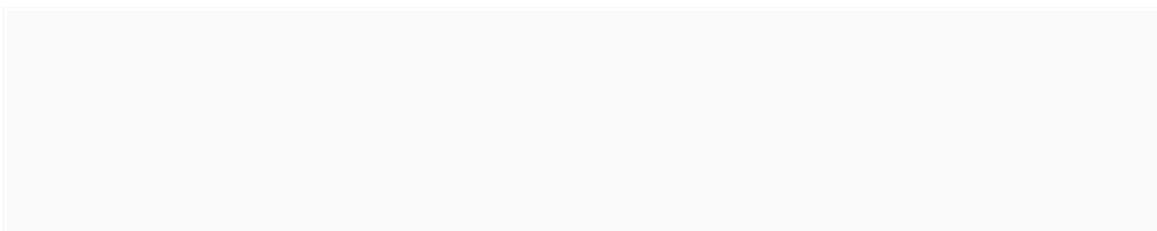
- Analisar a relação entre a deformação da mola e a força gravitacional.
- Observar a relação entre o valor de massa dado pela balança e o valor de  $g$ .

#### MATERIAIS

- Massa conhecida ( $m_1$ )
- Mola
- Suporte para a mola
- Régua
- Massa desconhecida ( $m_2$ )
- Gravidade estimada ( $g$ )

PROBLEMATIZAÇÃO PRELIMINAR

1. Seria possível medir a massa indefinida do objeto  $m_2$  usando os materiais disponíveis?



DESENVOLVIMENTO

PARTE I: Descobrindo o valor de K.

- I. Meça o comprimento inicial da mola pendurada no suporte, anotando na tabela 1.
- II. Pendure o objeto  $m_1$  na mola presa ao suporte, e meça o comprimento da mola deformada.
- III. Esboce na figura 1, as forças atuantes sobre a massa  $m_1$ .
- IV. A partir das ideias desenvolvidas em aula, calcule a constante da mola.

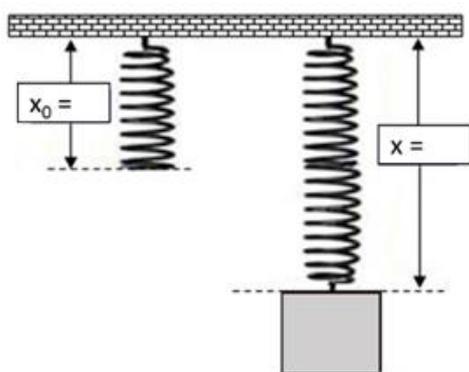


Tabela 1	
$m_1 =$	$x_0 =$
$g =$	$x_1 =$
$F_g =$	$F_{elas} =$
$k =$	

PARTE II: Descobrindo o valor de  $m_2$ .

- I. Preencha tabela 2 com os valores já conhecidos.
- II. Pendure o objeto  $m_2$  na mola presa ao suporte, e meça o comprimento da mola deformada.
- III. A partir das ideias desenvolvidas em aula, calcule a massa  $m_2$  do objeto.

Tabela 2	
$x_0 =$	$x_2 =$
$k =$	$F_{\text{elas}} =$
$g =$	$F_g =$
$m_2 =$	

# APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

## Objetivo:

Utilizar das novas concepções para compreensão do uso de propriedades físicas nas investigações geológicas, além da aplicação prática de propriedades físicas em diferentes equipamentos de medida.

Retomada dos questionamentos abordados durante a problematização inicial:

1. Retome os questionamentos iniciais, a partir da resolução das situações-problemas envolvendo medidas de gravidade sobre diferentes perfis geológicos, sugeridas na próxima seção.
2. Para a conclusão desta etapa, acesse com os alunos o site do **Banco de Dados Geodésicos (BDG)** do IBGE, disponível no endereço: <http://www.bdg.ibge.gov.br/ap-pbdg/#>
  - Peça que os alunos marquem a opção *UF/Município* na aba *Pesquisa* e, posteriormente, a opção *EG*.



Fonte: Print screen da página inicial do BDG.

- Analise com os alunos os *dados gravimétricos* do *Relatório de Estação Geodésia* de diferentes cidades. Priorize pelas cidades com diferentes altitudes,

como também em diferentes latitudes, de maneira que seja possível observar a variação no valor da gravidade local a partir dessas medidas.

IBGE		Relatório de Estação Geodésica	
Estação :	4013M	Nome da Estação :	4013M
Município :	VENDA NOVA DO IMIGRANTE	Tipo :	Referência de Nível - RN
Última Visita:	05/11/2009	Situação Marco Principal :	BOM
Conexões :	EG : 8078203	Última Atualização :	30/07/2018
<b>DADOS PLANIMÉTRICOS</b>		<b>DADOS ALTIMÉTRICOS</b>	
Latitude	20° 19' 33" S	Altitude Normal(m)	724,6796
Longitude	41° 08' 39" W	Nivelamento Geométrico	Gravidade(mGal)
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude(m)	0,080
Origem		Datum	Imbituba
Datum	SIRGAS2000	Data Medição	23/10/2003
Data Medição	05/11/2009	Data Cálculo	30/07/2018
Data Cálculo		Número Geopotencial (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	7.091,310
Sigma Latitude(m)			
Sigma Longitude(m)			
UTM(N)	7.751.006		
UTM(E)	276.134		
MC	-39		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ª edição disponível em : <a href="https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf">https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf</a></li> <li>- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em : <a href="ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planimetrica/relatorio/rel_sirgas2000.pdf">ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planimetrica/relatorio/rel_sirgas2000.pdf</a></li> <li>- Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em : <a href="https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html">https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html</a></li> <li>- As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em : <a href="ftp://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf">ftp://geofp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf</a></li> </ul>			
<b>Localização</b>			
No lado externo de uma cerca de tela, junto a um poste da rede elétrica, no pátio da revendedora Fiat, 1,68 km além da Igreja Matriz de São Pedro, na cidade de Venda Nova do Imigrante.			
<b>Descrição</b>			
Marco padrão IBGE.			

Fonte: *Print screen* do Relatório de Estação Geodésica.

*Dica: use o projetor multimídia para fazer uma breve explicação de como navegar no portal, caso seja possível.*

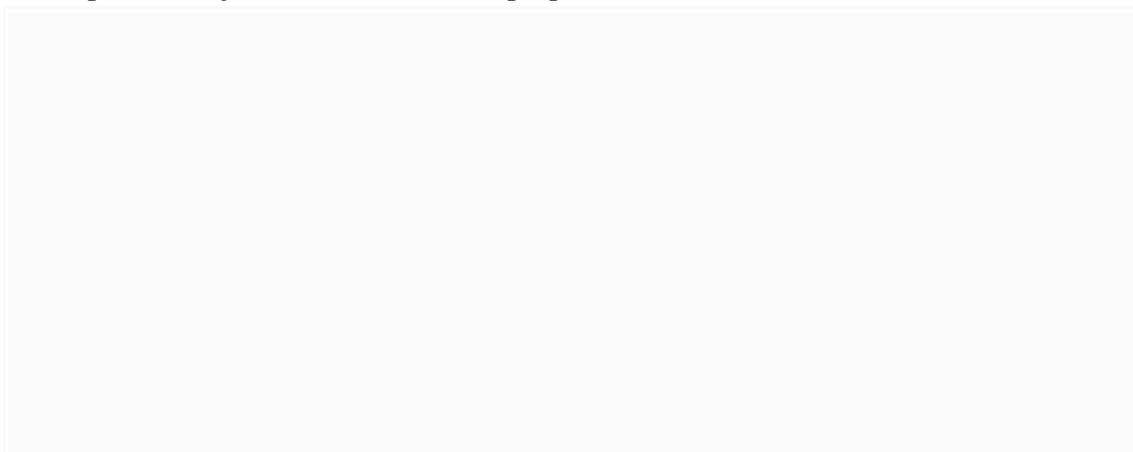
## Material sugerido

Nome: \_\_\_\_\_

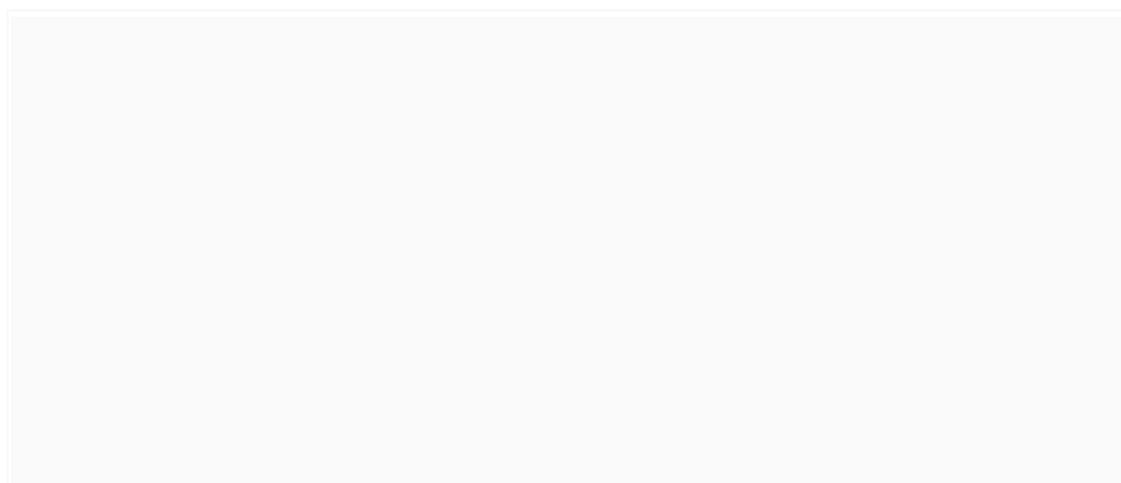
Série/Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

### SITUAÇÃO-PROBLEMA: A variação da gravidade e uma mola

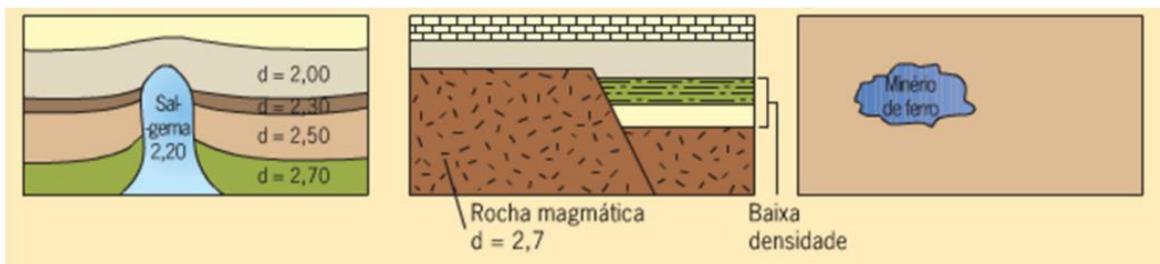
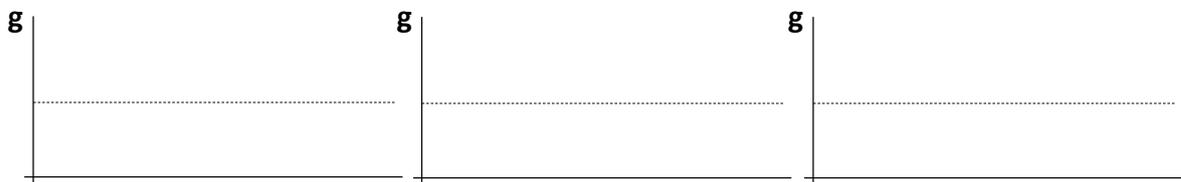
1. A partir da prática desenvolvida, qual(is) da(s) grandeza(s) analisadas mudaria de valor se mudássemos a balança para um lugar com valor da gravidade diferente? O resultado mostrado pela balança seria diferentes? Explique.



2. Agora, suponha que tenhamos uma mola ultrasensível, com um objeto de massa definida preso a ela. Seria possível usarmos esse aparato para medirmos a gravidade naquele local? Discuta com seus colegas.



3. Na figura abaixo estão representados o perfil geológico de três diferentes regiões. Represente para cada um deles um esboço do gráfico da variação da gravidade e desenhe como ficaria a mola indicada nas posições sugeridas.



Fonte: HAUSCHILD (2015).

# CAPÍTULO 8

## Aplicação do Conhecimento da sequência didática

## APLICAÇÃO DO CONHECIMENTO

### Objetivo:

Utilizar das novas concepções adquiridas ao longo de toda a sequência para analisar como é possível utilizar de diferentes propriedades físicas, além da gravidade, para investigações geológicas.

Retomada dos questionamentos iniciais abordados na problematização inicial da sequência:

1. Retome com os alunos os questionamentos feitos no início da aplicação dessa sequência didática:

*o Como obter informações dos outros 6400 km?*

*o Tudo o que sabemos a respeito do interior do nosso planeta foi visto diretamente, isto é, através de amostras?*

*o É possível analisarmos o interior da Terra sem que haja amostras da subsuperfície?*

2. Utilizando a **figura 11**, proponha aos alunos uma nova situação, a partir do mapa da região do pré-sal brasileiro e da afirmação abaixo:

“[...] custo para colocar em funcionamento cada poço para a exploração do pré-sal custa aproximadamente US\$ 100 milhões.

*(Gabrielli, presidente da Petrobrás em 2009)*

*Dica: O objetivo desse momento é que os alunos percebam como as propriedades físicas são relevantes para que consigamos informações do subsolo, e como uma análise mal feita pode onerar ou mesmo impossibilitar a busca por recursos minerais, por exemplo.*

4. Utilizando a figura 10, discuta com os alunos se usando somente da análise gravimétrica estudada, seria possível encontrar o ponto correto para furar um poço de petróleo, dentro de uma área de 149 mil km<sup>2</sup> para que um poço aproximadamente de apenas 50 cm de diâmetro fosse feito.

- *Como encontrar o local certo para furar um poço?*
- *Alguma outra propriedade física, além da gravidade, poderia ser útil para análise do subsolo, de maneira a encontrar petróleo, por exemplo? Alguma mudaria devido aos fluidos?*

*Dica: Aborde brevemente com os alunos outros métodos indiretos de investigação da subsuperfície. A tabela abaixo pode orientá-lo em relação a outros métodos geofísicos e suas propriedades físicas operativas.*

<b>Método</b>	<b>Parâmetro medido</b>	<b>Propriedades físicas operativas</b>
Sísmico	Tempo de percurso de ondas mecânicas refletidas/refratadas	Densidade e módulos elásticos, os quais determinam a velocidade de propagação das ondas.
Magnético	Variações espaciais do campo geomagnético	Suscetibilidade magnética
Elétrico		
Resistividade	Resistência elétrica do subsolo	Condutividade elétrica
Eletromagnético	Respostas as radiações eletromagnéticas	Condutividade elétrica
Potencial espontâneo	Potenciais elétricos	Condutividade elétrica

Fonte: Adaptado de KEAREY et al., 2009.

## Material sugerido

Figura 11:

Área delimitada como região do Pré-sal, mostrando a distribuição de possíveis reservatórios em relação às bacias sedimentares brasileiras.



Fonte: RICCOMINI et al., 2012.

---

# Referências

- ANDRIETTA, M. *Conhecendo as camadas da Terra*. Portal infoEnem. 06 abr. 2019. Disponível em: <https://www.infoenem.com.br/conhecendo-as-camadas-da-terra>. Acesso em: 13 dez. 2019.
- BRANCO, P. de M. *Como identificar os Minerais*. Rede de bibliotecas – Rede Ametista. CPRM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Como-Identificar-os-Minerais-1042.html>. Acesso em: 13 dez. 2019.
- CASTRO JUNIOR, C. A. C. e; GUIMARÃES, G. N.; FERREIRA, N. C. *Evolução da infraestrutura gravimétrica no Brasil*. V. 37. Revista Geociências. São Paulo. V. 37. n. 2. p. 361 – 384. 2018. Disponível em: [https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/37/volume37\\_2\\_files/37-2-artigo-10.pdf](https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/37/volume37_2_files/37-2-artigo-10.pdf) Acesso em: 13 Fev. 2019.
- CPBEdu. *Camadas internas da Terra*. Blog Geo-K. 02 ago. 2018. Disponível em: <http://blog.cpbedu.me/geokplaneta/2018/08/02/camadas-internas-da-terra/>. Acesso em: 13 dez. 2019.
- Ciclo das rochas, 28 set. 2014. 1 vídeo (7:08 min). Publicado por Maurício Correa Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=wLIZDKr7zj0>. Acesso em: 13 dez. 2019.
- DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. *Ensino de ciências: fundamentos e métodos*. 5ª ed. São Paulo: Cortez, 2018.
- ESA. *A force that shape our planet. Science in focus*. Disponível em: [https://www.esa.int/Our\\_Activities/Observing\\_the\\_Earth/GOCE/A\\_force\\_that\\_shape\\_our\\_planet](https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/GOCE/A_force_that_shape_our_planet). Acesso em: 10 fev. 2019.
- HAUSCHILD, C. K. *Método geofísico: Gravimetria*. c2015. Disponível em: <https://www.ejminas.com/metodo-geofisico-gravimetria>. Acesso em: 17 Dez. 2019.
- HEWITT, P. G. *Física conceitual*. 9a ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. *Geofísica de Exploração*. 2ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2009. 438p.
- LADEIA, R. *Estrutura da Terra: A Estrutura Interna da Terra e a Geofísica*. Blog Sobre Geologia. 06 ago. 2017. Disponível em: <http://www.sobregeologia.com.br/2017/08/estrutura-da-terra-estrutura-interna-da.html?m=0>. Acesso em: 13 dez. 2019.
- MANSUR, K. L.; CARVALHO, I. S.; DELPHIM, C. F. M.; BARROSO, E. V. O *Gnaiss facoidal: a mais Carioca das rochas*. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. Fev. 2008. V. 31. p. 9 – 22.
- MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. *Os três momentos pedagógicos: um olhar histórico-epistemológico*. ATAS DO XII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA – XIIEPEF. Águas de Lindóia, 2010.
- NASA: EARTH OBSERVATORY. *Gravity Anomaly Maps and The Geoid*. Mar. 2004. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/GRACE/page3.php>. Acesso em: 10 fev. 2019
- PESSOA JUNIOR, O. F. *Experimento do balde e espaço absoluto*. [2010]. Disponível em: [http://stoa.usp.br/daros/files/2856/16813/Balde-de-Newton\\_Principio-de-Mach.pdf](http://stoa.usp.br/daros/files/2856/16813/Balde-de-Newton_Principio-de-Mach.pdf). Acesso em: 15 jan.2019.

---

PIESING, M. O buraco mais profundo já cavado na Terra. **BBC Future**. 25 mai. 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/vert-fut-48330248>. Acesso em: 13 dez. 2019.

PRESS, F.; GROTZINGER, J.; SIEVER, R.; JORDAN, T. H. *Para Entender a Terra*. 4a edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

REDAÇÃO MUNDO ESTRANHO. Qual é a maior profundidade do oceano e até onde o homem já conseguiu descer. *Revista Superinteressante*. 04 jul. 2018. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/qual-e-a-maior-profundidade-do-oceano-e-ate-onde-o-homem-ja-conseguiu-descer>. Acesso em: 13 dez. 2019.

RICCOMINI, C., SANT'ANNAL, & TASSINARI, C. *Pré-sal: geologia e exploração*. 2012. *Revista USP*, (95), 33-42.

ROCZKO, R. *Fenômeno das marés*. nov. 2011. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/ifuspescola/mares-7093902>. Acesso: 07 jan. 2019

SÁ, N. C. *O campo de gravidade, o geoide e a estrutura crustal na América do Sul*. Tese de livre docência, Universidade de São Paulo, 2004. 121 p.

SILVEIRA, F. L. da. *Determinando a aceleração gravitacional*. Jan. 2007. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/GRAVIDADE.pdf>. Acesso em: 13 Fev. 2019.

SOUZA, C. A.; BASTOS, F. P. de; ANGOTTI, J. A. P. *Cultura científico-tecnológica na Educação Básica*. *Rev. Ensaio*. Belo Horizonte. V.09. N 01. p. 76 – 88. Jan – Jun 2007.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.; TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

TUBOY, A. M. *et al. O relógio atômico brasileiro*. Fev. 2009. Disponível em: <http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/mecanica/pesquisahoje/cap3/defaultframebaixo.htm>. Acesso em: 13 Fev. 2019.

Sites interativos:

BANCO DE DADOS GEODÉSICOS. Disponível em: <http://www.bdg.ibge.gov.br/appbdg/#>

MUSEU DE MINERAIS, MINÉRIOS E ROCHAS HEINZ EBERT. Disponível em: <https://museuhe.com.br/>

PHET COLORADO INTERACTIVE SIMULATIONS. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/)

PTABLE – TABELA PERIÓDICA DINÂMICA. Disponível em: <https://www.ptable.com/?lang=pt>