

PRODUTO EDUCACIONAL

O ENSINO DE REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE ONDAS MECÂNICAS A PARTIR DE UMA ABORDAGEM SÍSMICA

Gedeel Souza dos Santos

Rio Branco – AC

Março - 2021

APRESENTAÇÃO

Prezado professor(a), esse trabalho foi desenvolvido e executado em uma escola da rede federal de ensino, sendo fruto de diversas pesquisas relacionadas na área de ensino de Física. Apresenta uma situação de ensino que aborda a temática de ensino dos fenômenos da reflexão e refração de ondas com uma abordagem sísmica, idealizada em uma sequência didática, buscando aproximar o conteúdo aplicado na sala de aula com as tecnologias utilizadas na aquisição de recursos minerais. O produto educacional ficará disponível para os professores de toda esfera municipal, estadual, federal e particular de ensino de Física em forma de sequência didática.

A princípio o trabalho foi desenvolvido para aplicação presencialmente pelo professor em sala de aula, a qual passou pela qualificação ainda com esta forma de aplicação, porém, devido longo período de suspensão das aulas ocorrida pela pandemia da Covid-19, sofreu pequenas alterações para adapta-lo ao formato de aulas assíncronas ou síncronas. O que possibilita aplicação por qualquer docente em aulas presenciais ou remotas.

Objetivo

Inserir de forma significativa a partir de métodos sísmicos conceitos ondulatórios e conceitos e equações relacionadas aos fenômenos da reflexão e refração.

Levantamento de conhecimentos prévios

Ao obter os conhecimentos prévios dos alunos, é possível elaborar a melhor forma de abordar e apresentar os conteúdos nas aulas seguintes, nesse caso, à apresentação dos conceitos ondulatórios e os de reflexão e refração de ondas utilizando ondas sísmicas.

Os subsunçores serão obtidos por meio de um questionário inicial através de perguntas que envolvem situações relacionadas à ondas sísmicas, além de conceitos sobre os fenômenos de reflexão e refração. (Apêndice A do produto)

SEQUÊNCIA DIDÁTICA: refração e reflexão de ondas

Autor: Gedeel Souza dos santos

Orientador: Prof. Dr. Antônio Romero da Costa Pinheiro

Duração: 200 min – 4 horas/aulas

Conteúdo: Propagação e vibração de ondas, reflexão e refração de ondas sísmicas.

OBJETIVOS:

- Auxiliar a aprendizagem dos conceitos sobre os fenômenos da reflexão e refração usando os métodos sísmicos e alguns conceitos ondulatórios usando a sismologia dos terremotos;
- Diferenciar a ocorrência de ambos os fenômenos;
- Abordar a propagação de terremotos;
- Envolver as geociências no ensino de física;
- Deixar o aluno predisposto a aprender;
- Demonstrar a aplicabilidade e o ganho para a humanidade com o conhecimento do comportamento das ondas;
- Compreender a física como área de conhecimento que possibilita conhecer o interior da Terra;

PARTE 01

Apresenta questões sobre como conhecemos o interior da Terra.

Primeiro momento: Para o início da aula, na busca de criar expectativa sobre o conhecimento do interior da Terra, é trazido para sala de aula um texto criado pelo autor onde contém informações gerais sobre terremotos e hiperlink de vídeo explicativo, que envolve temas de duas das oito questões do questionário inicial, mais especificamente, os temas das questões 1 e 2. Objetivando que os mesmos externem seus conhecimentos prévios aos seus colegas e assim, tenham um momento de confronto de ideias com os mesmos envolvendo o que cada um entende a respeito de terremotos e como se determinou as camadas internas da Terra.

Prosseguindo a aula, é exposto através de slides, imagens de subsuperfícies (estrutura interna da Terra, mais especificamente da crosta), a qual o professor detalha cada uma e depois questiona se pode haver relação entre as ilustrações das subsuperfícies, com a localização de minerais, água subterrânea e hidrocarbonetos (petróleo e gás natural) e a determinação das camadas da Terra em crosta, manto e núcleo. Com intuito de proporcionar um debate. Este primeiro momento compõe uma situação-problema com a intenção de cativar a atenção dos alunos ao prosseguimento da aula. A situação-problema será trabalhada com os alunos por meio de discursões instigada pelo professor e este colherá todas as informações dando importância a qualquer que seja a resposta.

Segundo momento: Nesta fase se apresenta o conhecimento a ser ensinado/aprendido englobando conceitos amplos, levando em conta ideias mais gerais sobre ondas.

Terceiro momento: Especifica os conceitos direcionados às ondas sísmicas, naturais ou artificiais. Nessa parte, utiliza-se conceitos iniciais, mas, que serão suficientes para entender os Terremotos e como as ondas sísmicas se comportam. São utilizados projeções de imagens, animações e vídeos.

Quarto momento: Atividade avaliativa que pode ser passada como atividade extraclasse e conseqüentemente não entra no tempo da aplicação da sequência didática.

PARTE 02

Primeiro momento: É onde são apresentados e explicados os conceitos dos fenômenos da reflexão e refração dando a esses uma abordagem sísmica, para isso é usado projeções de imagens, animações e vídeos que possibilitem o aprendizado generalizando a todos os tipos de ondas.

Segundo momento: Apresentação dos métodos sísmico.

Terceiro momento: Atividade avaliativa extraclasse.

OBSERVAÇÃO

As partes em destaques são os encaminhamentos que o professor deve dar para o prosseguimento das aulas, não aparecendo em possíveis slides criados.

DESENVOLVIMENTO DA AULA

PARTE 01

Primeiro momento (30 minutos)

O professor pode iniciar a aula abordando informações de sismos através do texto, onde contém informações gerais sobre terremotos, hiperlink de vídeo explicativo (de 51s à 5min e 33s) sobre a ocorrência e registro de tremores, e imagem com hiperlink para mostrar a frequência de ocorrência do fenômeno no cotidiano dos alunos, ou seja, na sua região. O texto finaliza com uma pergunta, de modo a abrir caminho à situação-problema. (Essa apresentação pode ser slides)

TEXTO PARA INÍCIO DA AULA

TERREMOTOS

Um terremoto ou abalo sísmico é basicamente a ocorrência de uma fratura a uma certa profundidade, que origina ondas elásticas que se propagam por toda a Terra. As rochas comportam-se como corpos elásticos e podem acumular deformações quando submetidas a esforços de compressão ou de tração. As ondas sísmicas são ondas elásticas capazes de atravessar um meio físico sem modifica-lo.

Por ano, há cerca de 500.000 terremotos no mundo. Destes, apenas cerca de 100.000 podem ser sentidos, e cerca de 100 possuem uma magnitude de 6 ou mais graus na escala Richter, que são os que podem causar danos ou mortes. (HIPERCULTURA, 2010)



Figura 1: Imagem do maior terremoto registrado na história, em 1960, Chile. **Fonte:** Hipercultura, 2010

O maior terremoto do mundo já registrado ocorreu em 22 de maio de 1960 perto de Valdivia, no sul do Chile. Foi atribuído uma magnitude de 9,5 pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos, que o considera o "maior terremoto do século XX". O terremoto durou aproximadamente 10 minutos, e pôde ser registrado em todo o mundo, sacudindo o planeta durante dias.



Figura 2: Ilustração da Terra vibrando. **Fonte:** Unknown, 2013

VÍDEO

Editado

O Acre, é uma região que apresenta abalos sísmicos continuamente, todos os anos é detectado terremotos. A partir de 2010 a frequência de terremotos tem se intensificado, onde o período de maior atividade sísmica registrado no Estado ocorreu de 2013 à 2016, sendo registrado ao todo 21 terremotos. (SANTOS *et al*, 2019)

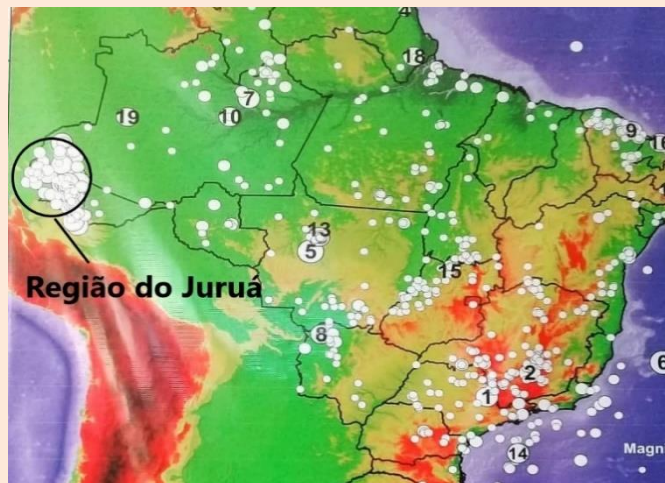


Figura 3: Mapa do registro da atividade sísmica no território nacional **Fonte:** Acre sondagens e fundações 2020 - adaptada

Os terremotos causam problemas como:

- Mortes;
- Desmoronamento de prédios, casas e pontes;
- Tsunamis que podem devastar cidades;
- Outros.

Apesar dos desastres decorrentes de terremotos, pode estes serem utilizados em benefício à ciência?

É ideal que os alunos participem expondo suas opiniões, assim, o professor poderá ter pontos para desenvolver a resposta da questão. E ao final da resposta já enunciar mais uma pergunta (podendo usar slides para isso) dando tempo para que os alunos respondam antes de continuar a aula. Resposta para a questão, não necessariamente precisará está nos possíveis slides, mas a imagem contém hiperlink de vídeo que poderá ser assistido a partir de 2min e 39s para apresentar apenas o que propõe a aula. Podendo o professor baixar e editar antecipadamente.

A investigação direta do manto e núcleo da Terra não é possível, uma vez que não temos acesso a estas regiões do planeta. Assim, para investigar as zonas mais profundas da Terra, os cientistas usam os terremotos, pois, um terremoto ocorrido em um lado do planeta pode atravessar todas as camadas da Terra e ser registrado do outro lado do planeta por estações de monitoramento de sismos. E é justamente o entendimento da propagação dos terremotos por toda a Terra que possibilitou a determinação teórica das três principais camadas da Terra que compõe a geosfera, sendo a sismologia de terremotos a melhor ferramenta para estudar o interior do nosso planeta.

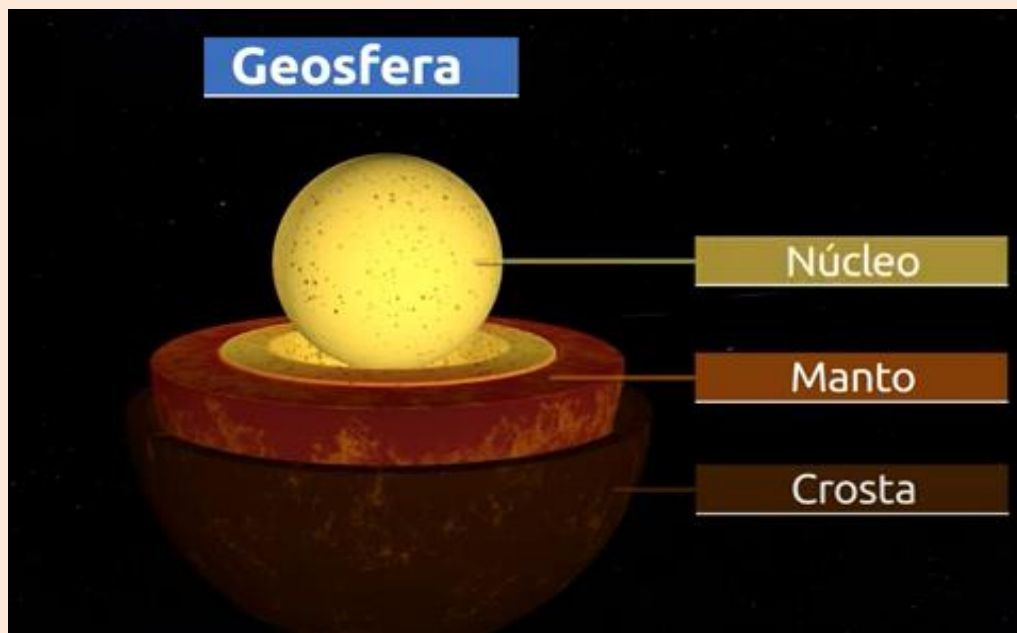


Figura 4: Distribuição das três principais camadas da Terra **Fonte:** Retirado do YouTube – adaptado

Mas, como é que os terremotos podem ser ferramentas de informações para determinar as três principais camadas da Terra?

A resposta dos alunos podem ser abrangendo tecnologias, métodos e ou conteúdos já estudados algum momento na escola ou em casa. Os apontamentos dos alunos em relação à pergunta, deve ser filtrado pelo professor na tentativa de guiá-los ao caminho mais coerente. Mas, mostrando aos alunos que está interessado em suas ideias.

Possivelmente, os alunos não responderão a questão com precisão, ou pelo menos a maioria. Assim, é ideal dá prosseguimento ao tema trazendo mais situações, ampliando mais a discursão.

Então, apresenta-se mais imagens de situações que também envolvem a mesma área que proporciona determinar as três principais camadas da Terra, demonstrando a grande aplicação que este conhecimento possibilita.

O professor, explicando cada imagem descreve mais situações. E faz mais perguntas envolvendo o assunto abordado até aqui, dando oportunidade aos alunos para discussão.

Quando olhamos a superfície da Terra, não conseguimos descrever como é a estrutura abaixo dos nossos pés, apenas em profundidades pequenas por escavação ou em algumas encostas, barrancos de rios ou afloramento, como mostra as figura 5a e 5b.



Figura 5a: Camadas internas do solo à uma pequena profundidade **Fonte:** Medeiros, 2015



Figura 5b: Camadas internas do solo à uma pequena profundidade **Fonte:** Infoescola

Mas, somos acostumados a ver imagens que ilustram subsuperfícies a grandes profundidades com certa precisão, como mostra as figuras 6^a e 6b.

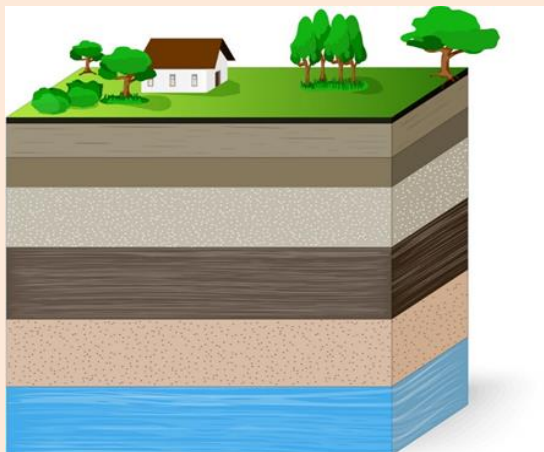


Figura 6a: Camadas internas do solo em grandes profundidades **Fonte:** Vectorstock, 2018

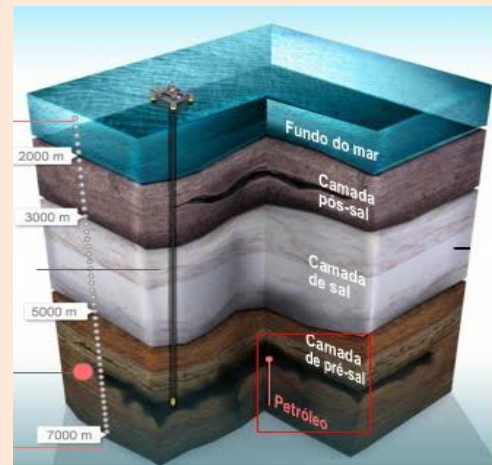


Figura 6b: Camadas internas do solo em grandes profundidades **Fonte:** Wikigeo

E também sabemos que existe exploração de recursos naturais à grandes profundidades e não é possível identificar visualmente onde as reservas de recursos se localizam, mas se consegue perfurar os exatamente onde se localiza, conforme a figura 7.

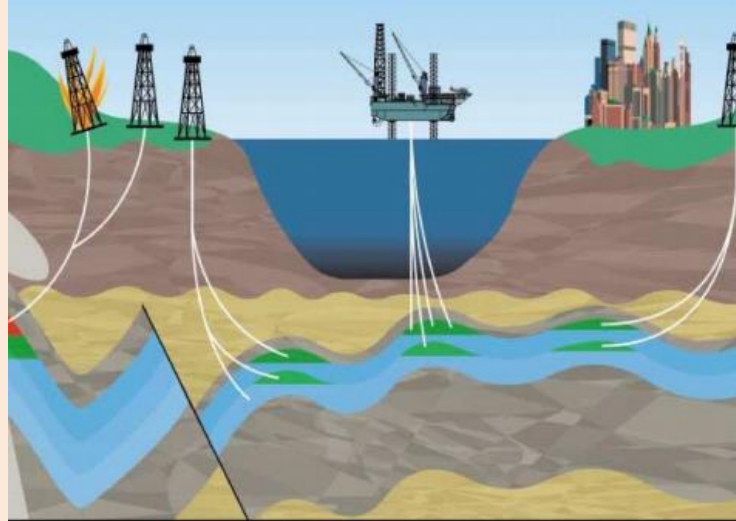


Figura 7: Localização exata dos recursos naturais **Fonte:** USP

- Como podemos ilustrar essas subcamadas se não conseguimos visualizá-las?
- O modo como elas são ilustradas tem alguma relação com o método que determina as três principais camadas da Terra, sendo essas determinadas a partir dos terremotos?
- A determinação de jazidas de minerais, petróleo e gás natural, também pode ter relação com este conhecimento, uma vez que existe perfurações de poços de petróleo de até 8000 metros o que inviabiliza sua determinação de forma direta?

MOMENTO DE DISCUSSÃO

Após as opiniões dadas e debatidas pelos alunos sobre os questionamentos, o professor deverá explicar qual parte da Física envolve tais situações – ondulatória – e qual área de estudo aplica esse conhecimento para entender a estrutura do interior da Terra – Geofísica a partir da sísmica.

Para prosseguimento da aula é apresentando o conteúdo base (conceitos básicos sobre ondas) para o entendimento dos fenômenos tema da sequência didática. Essa apresentação deve ser feita utilizando slides pois, nela será usado imagens, GIFs e vídeos.

Segundo momento (30 minutos)

ONDULATÓRIA

É a parte da física que estuda as ondas e suas características

➤ Onda

Uma onda é uma perturbação periódica de uma grandeza física que se propaga no espaço e no tempo. A onda transfere energia de um ponto a outro do meio à qual se propaga sem haver transporte de matéria.



Figura 8: onda em uma superfície aquática. **Fonte:** UFPA, 2018

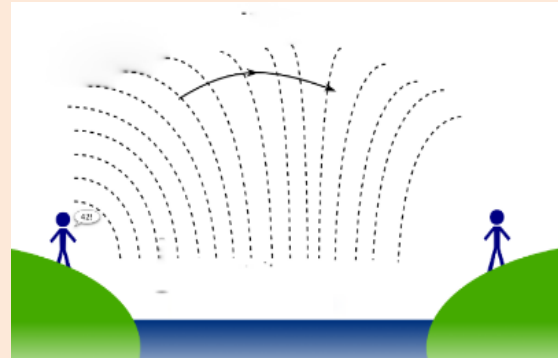


Figura 9: onda sonora. **Fonte:** Acousticstoday, 2020 – adaptada

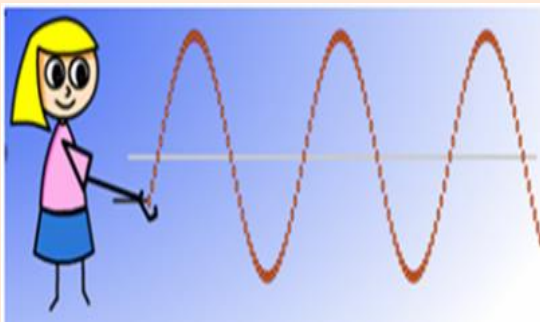


Figura 10: onda em corda. **Fonte:** Oliveira, 2020

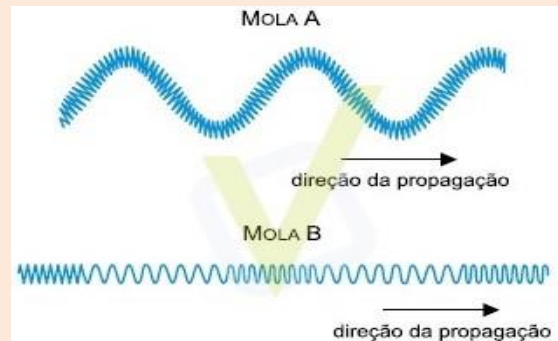


Figura 11: onda em molas. **Fonte:** portalsaofrancisco, 2014

Nas imagens, é possível observar as seguintes características, que o professor deve explicar criteriosamente. Também enfatizar que são ondas mecânicas dando exemplos de ondas eletromagnéticas.

- As imagens representam quatro ondas se propagando em quatro meios diferentes.
- Os meios estão à oscilar e essa oscilação é desencadeada a partir de uma perturbação no meio, criando a onda.
- Essa perturbação ocorre devido a energia recebida, fazendo o meio vibrar com intensidade proporcional à energia recebida.
- Essa vibração pode ocorrer de duas maneiras:

Vibrações transversais (na água, na corda e na mola A) e longitudinais (no ar e na mola B).

Podendo também serem unidimensionais (corda e molas), bidimensionais (superfície aquática) e tridimensionais (som).

- Todas as ondas nas imagens são ondas mecânicas, pois a energia criada devido a perturbação necessita de meio material (nesse caso: água, corda, ar e molas) para se propagar.

As ondas mecânicas, como observado nas imagens, podem se propagar em diferentes meios materiais, inclusive, nas subcamadas da Terra, e podem sofrer os fenômenos da reflexão e refração.

Após apresentar os conceitos de forma geral sobre ondas, o professor passa agora a trabalhar apenas com ondas sísmicas com foco nos fenômenos de reflexão e refração.

É entendendo a ocorrência desses fenômenos durante a propagação de ondas nas subcamadas da Terra (ondas sísmicas) que se pode determinar a estrutura interna da Terra, possibilitando ilustrar as três principais camadas do interior do nosso planeta a partir de abalos sísmicos, mapear as subcamadas da crosta terrestre e determinar a localização de recursos naturais a partir de ondas sísmicas artificiais.

Terceiro momento (40 minutos)

ONDAS SÍSMICAS

O que é uma onda sísmica?

É a transferência de energia em subsuperfícies por meio do movimento das partículas que formam a estrutura interna da Terra. As partículas ao se movimentarem passam a energia que receberam à partícula mais próxima e isso ocorre de partícula à partícula, possibilitando o transporte de energia há dezenas, centenas ou milhares de quilômetro dependendo da energia inicial liberada pela fonte sísmica.

As ondas sísmicas são caracterizadas pelo tipo de movimento que as partículas realizam na transferência de energia podendo ser ondas de corpo ou ondas superficiais. **As ondas superficiais não serão objeto de estudo.**

- Ondas de corpo são ondas que se propagam no interior da Terra e podem ser subdivididas em:
 - Primárias (ondas P), que também podem ser chamadas compressonais ou longitudinais.

Essas ondas são as que viajam mais rápido através das rochas, então, são as primeiras a serem sentidas após um terremoto (motivo esse que são chamadas de Primárias).

É o tipo de onda corporal que fica empurrando e puxando partículas (compressão e rarefação de partículas) tanto de rochas quanto de líquidos na mesma direção em que a onda se propaga.

As ondas de compressão (P) são idênticas à onda sonora (figura 9) e a onda na mola B (figura 11) – o movimento das partículas é paralelo à direção de propagação da onda.

GIF

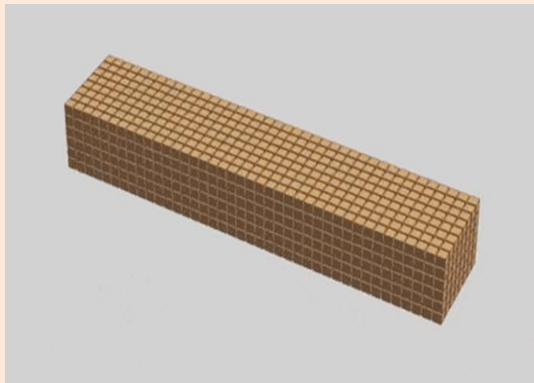


Figura 12: GIF comportamento das partículas com a passagem de uma onda longitudinal.

Fonte: Retirado do site gfyca.com

GIF

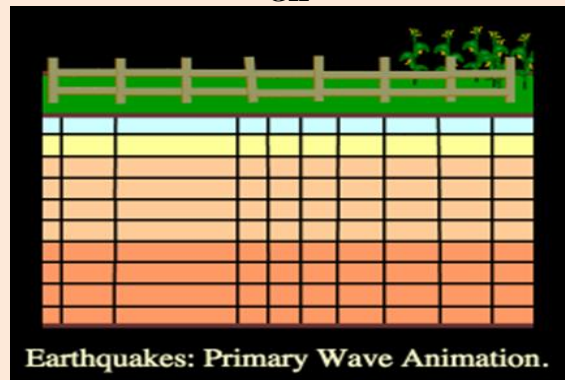


Figura 13: GIF comportamento da superfície terrestre com a passagem de uma onda Primária.

Fonte: Retirada do site socratic.org

GIF



Figura 14: GIF representação de como se sente as ondas primárias na superfície. **Fonte:** Retirado do site giphy.com

- Secundárias (ondas S) que também podem ser chamadas de ondas de cisalhamento ou ondas transversais.

Quando as partículas vibram perpendicular (em ângulo reto) à direção de propagação das ondas

É o segundo movimento mais rápido de uma onda corporal, viaja apenas em sólidos deslocando a rocha de um lado para o outro em relação à direção que a onda se move. - as ondas transversais (S) são idênticas as ondas na corda (figura 9), na superfície aquática (figura 10) e na mola A (figura 11) – o movimento da partícula é perpendicular à direção de propagação da onda.

GIF

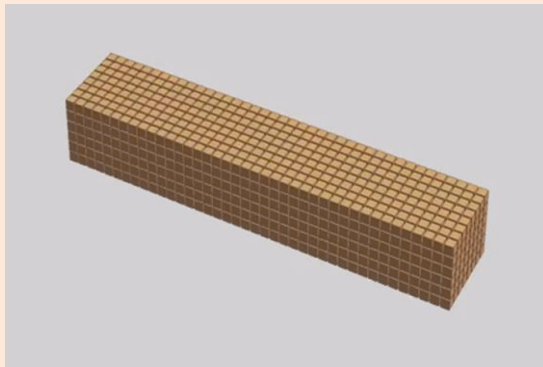


Figura 15: GIF comportamento das partículas com a passagem de uma onda transversal. **Fonte:** Retirado do site gfyca.com

GIF

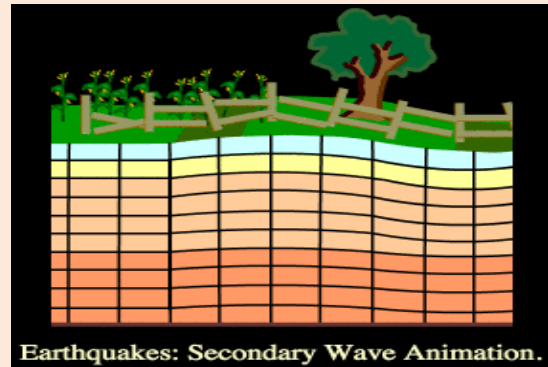


Figura 16: GIF comportamento da superfície terrestre com a passagem de uma onda Secundária. **Fonte:** Retirada do site socratic.org

GIF



Figura 17: GIF representação de como se sente as ondas secundária na superfície. **Fonte:** Retirado do site giphy.com

- Velocidade das ondas sísmicas.

- Quanto menos compressível for um material, maior a velocidade da onda P, por exemplo, o som viaja cerca de quatro vezes mais rápido na água do que no ar, uma vez que é mais fácil comprimir o ar do que a água.
- Quanto mais resistente um material é de se cisalhar (deformação permanente, quebrar), maior a velocidade das ondas (S). É mais difícil comprimir sólidos que cisalhá-los, assim, as ondas compressoriais (ondas primárias) viajam mais rápido que as ondas de cisalhamento (ondas secundárias).

Esse princípio também explica por que os líquidos não carregam ondas de cisalhamento. Os líquidos e gases não possuem rigidez.

Com o conhecimento de que os fluidos não carregam ondas de cisalhamento, combinado com observações de Terremotos, levou-se à descoberta de que o núcleo externo da Terra é um líquido em vez de um sólido.

Pois, se a Terra fosse constituída apenas de um material com propriedade constante da superfície ao centro, as onda P e S viajariam no interior da Terra em linha reta, mas, isso não é o que acontece.

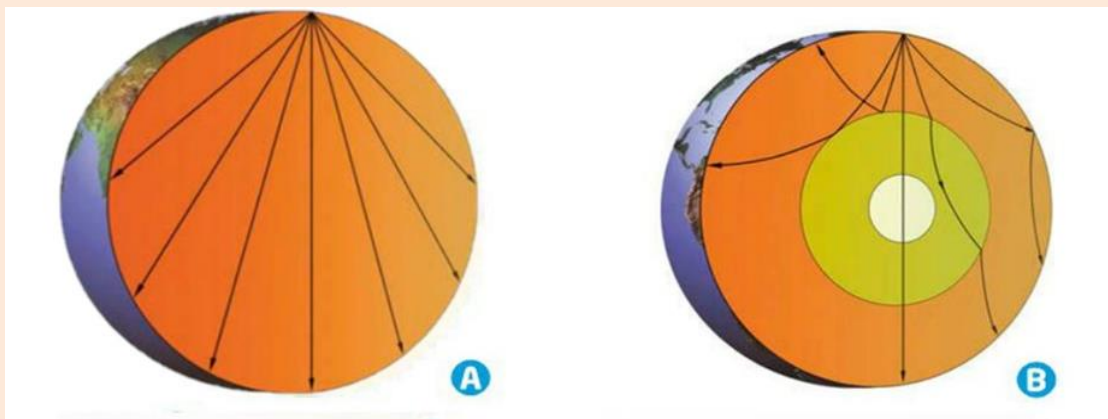


Figura 18: comportamento das ondas sísmicas caso o interior da Terra fosse homogêneo (A), comportamento das ondas sísmicas na realidade (B). **Fonte:** Correia, 2015 - adaptada

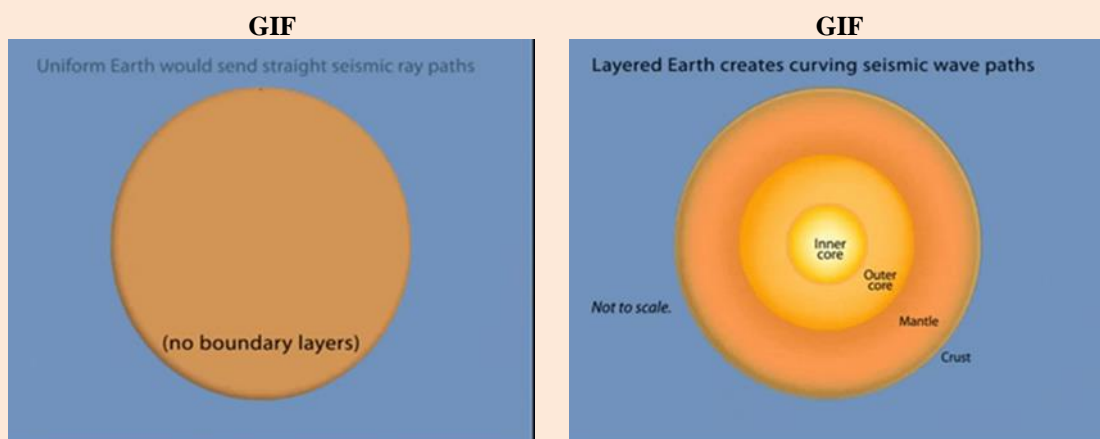


Figura 19: GIF caminho das ondas sísmicas caso a Terra fosse homogênea. **Fonte:** Retirado do site giphy.com

Figura 20: GIF caminho real das ondas sísmicas no interior da Terra. **Fonte:** Retirado do site giphy.com

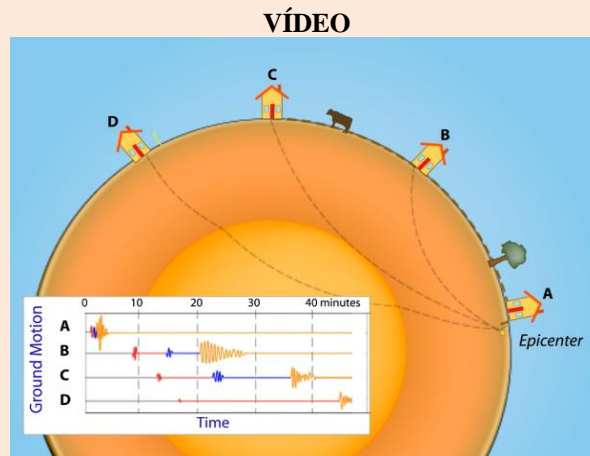


Figura 21: Vídeo do comportamento das ondas primárias e secundárias no interior da Terra. **Fonte:** Retirado do site iris.edu

Uma animação complementar intitulada "Rede sismográfica de quatro estações registra um único terremoto" mostra os prédios e vacas saltando e rolando acima da superfície da Terra. A intenção era ilustrar a natureza do movimento das ondas. A vaca é apenas para divertir os alunos e enfatizar que as ondas sísmicas que se afastam de um terremoto ocorrem em todos os lugares, não apenas nas estações sísmicas. Uma pessoa sentiria um grande terremoto apenas na estação A, perto do epicentro. As estações B, C, D e a vaca estão muito longe do terremoto para sentir as ondas sísmicas. Tanto a escala dos edifícios (e a vaca) quanto a amplitude dos movimentos são exageradas. Os movimentos de terra amplificadas em desenho animado mostram a onda P compressiva (para cima e para baixo neste caso), a onda S de cisalhamento (para trás), e os movimentos de onda da superfície rolante registrados por instrumentos sensíveis. Observe que a Estação D não registra uma onda S porque as ondas de cisalhamento não podem viajar através do núcleo externo líquido da Terra.

Assim o professor pode fornecer informações aos alunos que é por meio das ondas sísmicas que se pode determinar as subcamadas da crosta terrestre e os reservatórios de recursos minerais a partir de ondas sísmicas artificiais e que a determinação das três principais camadas da Terra em crosta, manto e núcleo deve-se à propagação das ondas de abalos sísmicos (terremotos).

Quarto momento (20 minutos)

Após a explicação, finaliza a aula com atividade avaliativa. (Apêndice B do produto)

Prosseguindo com a sequência, o professor passa agora para o momento em que deve explicar que é entendendo os fenômenos da reflexão e refração das ondas sísmicas, quando estas encontram separações de subsuperfícies, que se pode ilustrar a formação geológica da Terra tanto em pequenas quanto em grandes profundidades.

Como adotado desde o início do conteúdo, o professor deve dá oportunidade aos alunos para possíveis questionamentos analisando cada opinião, ouvindo-os e possibilitando aos mesmos à construir sua aprendizagem.

PARTE 02

Primeiro momento (50 minutos)

Olhar abaixo de nossos pés, é como se olhar em lugar onde não existe luz, em uma escuridão profunda, não conseguimos ver nada. Mas, podemos “iluminar” as subsuperfícies de alguma forma e conseguir interpretar a formação geológica abaixo dos nossos pés e conhecer o mundo a qual a luz não consegue penetrar, podemos “iluminar” com ondas sísmicas para “visualizar” o interior do nosso planeta.

É entendendo o comportamento das ondas sísmicas em meio as subcamadas, ou seja, como as ondas se comportam quando atingem interface que dividem subcamadas de solos de diferentes densidades que se consegue ter informações da estrutura do interior da Terra.

Quando uma onda sísmica encontra uma descontinuidade, uma interface que separa duas subcamadas de propriedades diferente, as frente de onda podem se comportar de forma diferentes:

- A frente de onda pode ser refletida, não ultrapassando para outro meio.
- A frente de onda pode ser refratada, ultrapassando para o outro meio e posteriormente pode ser refletida.
- A frente de onda pode ser refratada criticamente, propagando se na interface de separação entre os dois meios.

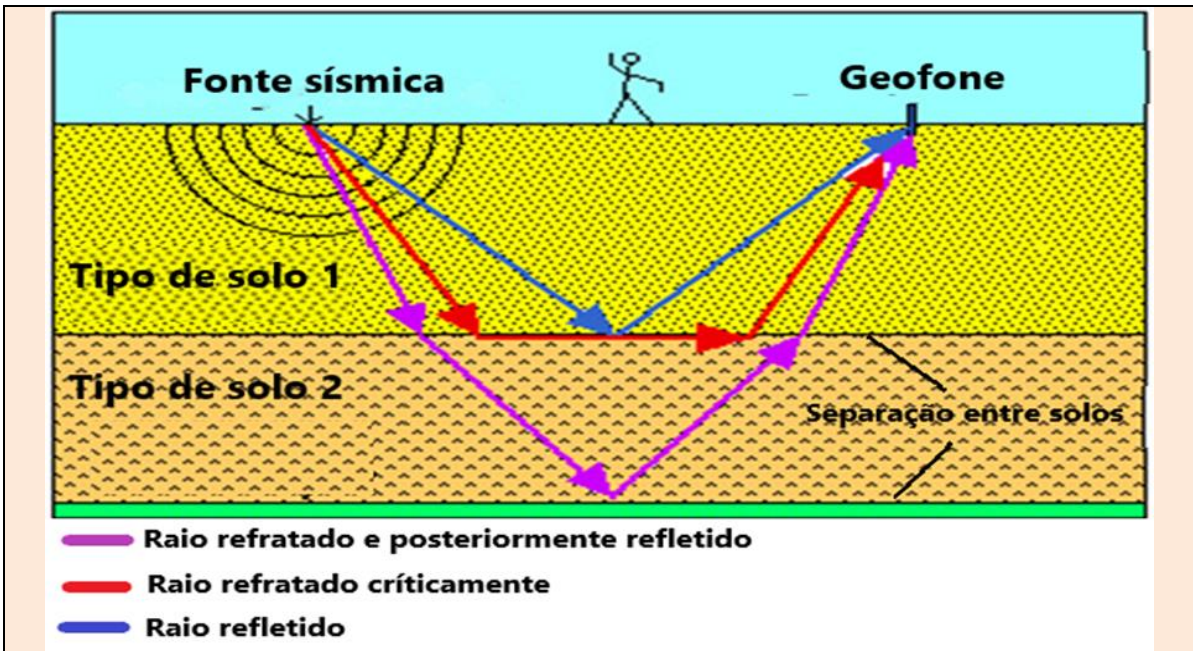


Figura 22: Representação do comportamento das ondas sísmicas. **Fonte:** Retirado do site maps.unomaha – adaptado

Mas, para entender esses dois fenômenos (reflexão e refração) temos que compreender importantes conceitos introduzidos historicamente para explicar o comportamento das ondas de forma geral.

➤ Frente de ondas:

São superfícies de fases constante, como ondulações em uma lagoa, mas no caso de ondas sísmicas em três dimensões. Em um meio homogêneo uma frente de onda é esférica e sua forma pode ser distorcida a partir da mudança de meio.

➤ Raios:

Também chamado de "frente de onda" normal, um raio é uma flecha perpendicular à frente da onda, indicando a direção da viagem desse ponto na frente da onda. Cada frente de onda pode ter um número infinito de raios.

➤ Princípio de Huygens:

Cada ponto em uma frente de onda pode ser pensado como uma possível nova fonte de onda.

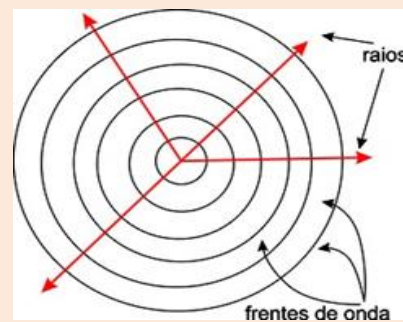
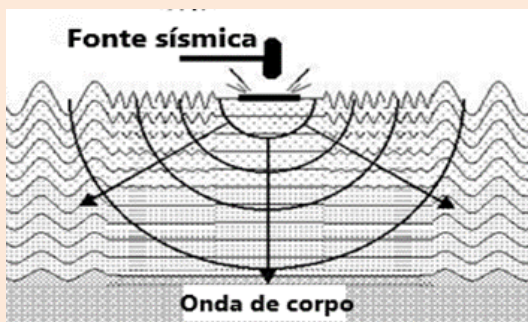


Figura 23: Propagação de uma onda sísmica.
Fonte: Retirada do site masw.com. - adaptada

Figura 24: Frentes de ondas e raios de ondas.
Fonte: Retirada do site masw.com.

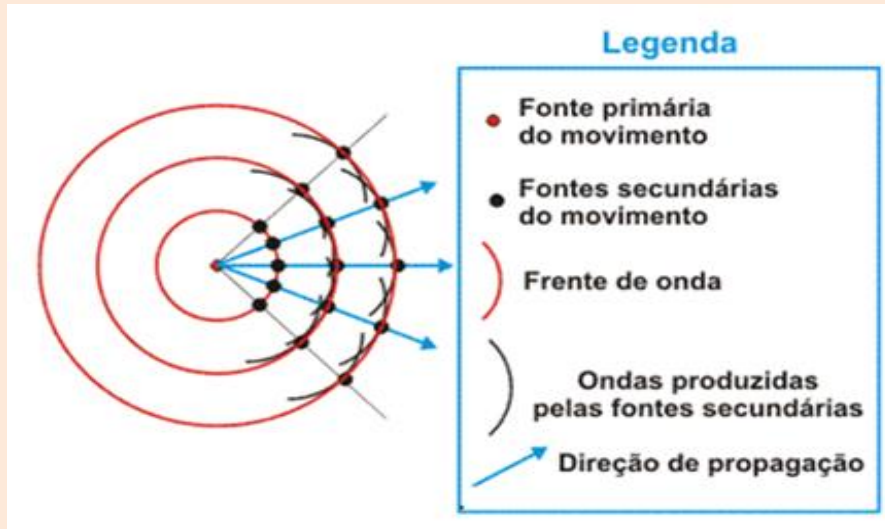


Figura 25: Representação do comportamento radial da frente de onda. **Fonte:** Retirado do site gestãoeducacional.

Quando a energia sísmica viaja (onda sísmica), ela viaja nas três dimensões, e idealmente teria uma forma geométrica aproximadamente esférica, como na figura 24.

Porém, quando os raios sísmicos viajam através das subcamadas, se deparam com mudanças na densidade das rochas acarretando alteração na velocidade de propagação das ondas e também a direção das mesmas, essas mudanças obedecem a Lei de Snell-Descartes e isso faz com que os raios sejam refletidos e ou refratados dependendo de como os raios de ondas incidem nas divisões entre os meios.

Tipos de incidência

➤ **Incidência normal**

Quando um raio atinge uma interface com incidência normal (ou seja, perpendicular à interface de separação entre duas subsuperfície), um pouco da energia é refletida enquanto o restante é passada para a subcamada inferior. Na incidência normal pode ocorrer os fenômenos da reflexão e refração.

➤ **Incidência oblíqua**

Quando uma onda P é incidente obliquamente, há raios de ondas P refletidas, e o raios transmitidos refratados, os dois casos de acordo com a **Lei de Snell**. Na incidência oblíqua, também pode ocorrer os fenômenos da reflexão e refração.

REFLEXÃO

Reflexão é um dos fenômenos ondulatórios comum a todos os tipos de ondas. Quando as ondas atingem um obstáculo ou uma fronteira de separação entre dois meios, retornam total ou parcialmente ao meio a qual estavam se propagando, não alterando sua velocidade.

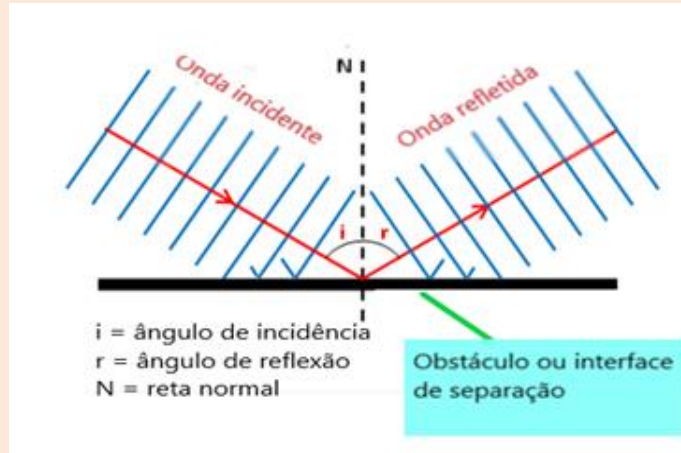


Figura 26: Esquema do fenômeno da reflexão. **Fonte:** Autor.

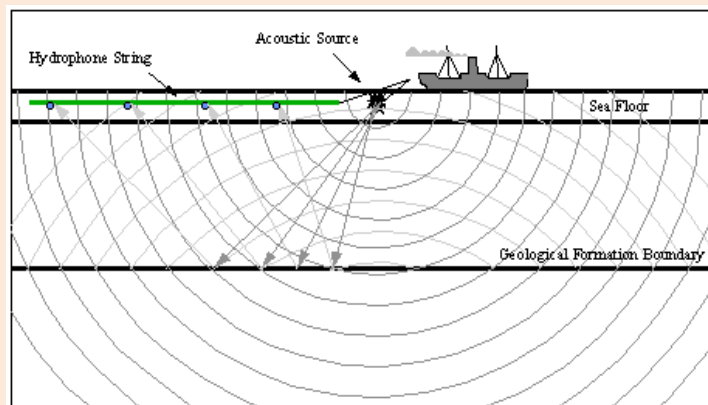


Figura 27: Comportamento das frentes de ondas quando encontram uma separação entre dois meios. **Fonte:** retirada do site ucl.ac.uk.

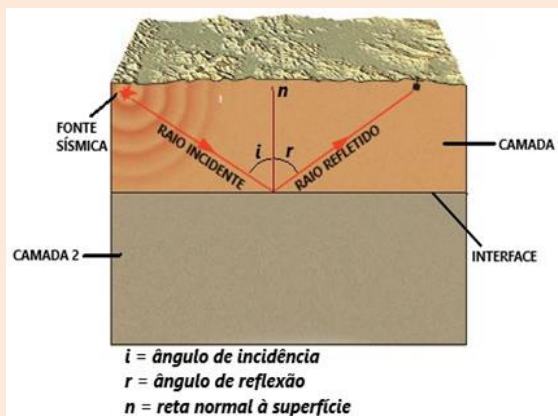


Figura 28: Raio de onda refletindo em subcamada. **Fonte:** Retirada do site mheducation.com. – adaptada.

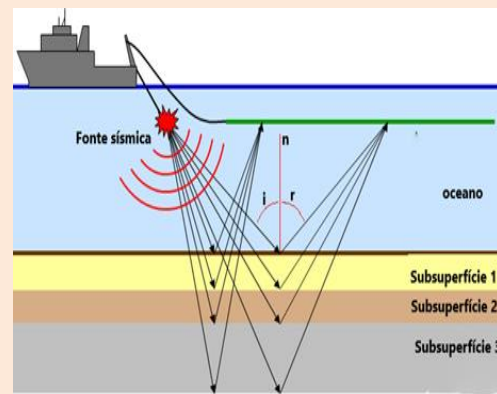


Figura 29: Reflexão de múltiplos raios em múltiplas subcamadas. **Fonte:** Retirada do site flotteeceanographique.fr. – adaptada.

O fenômeno da reflexão é regido por duas leis:

➤ **Primeira lei da reflexão**

O raio de incidência, a reta normal e o raio refletido estão contidos no mesmo plano.

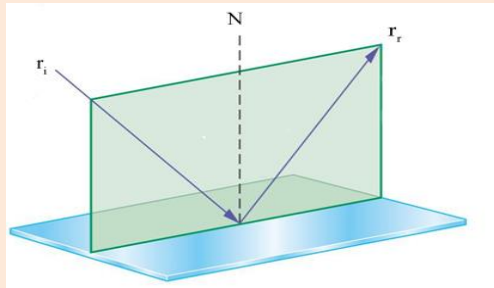


Figura 30: Representação da primeira lei da reflexão **Fonte:** Retirada do site fq.pt.

r_i = raio incidente

r_R = raio refletido

N = reta normal

➤ **Segunda lei da reflexão**

Ao retornar após atingirem um obstáculo ou interface de separação entre dois meios, os raios de ondas voltam apresentando um ângulo de reflexão exatamente igual ao ângulo de incidência.

Figura

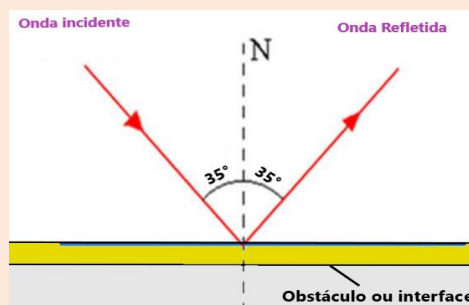


Figura 31: Representação da segunda lei da reflexão. **Fonte:** Autor

$$\hat{i} = \hat{r} \quad (1)$$

REFRAÇÃO

Refração, assim como a reflexão, é um dos fenômenos ondulatórios comum à todos os tipos de ondas. As ondas que atingem uma fronteira de separação entre dois meios, podem ultrapassar a fronteira de separação, passando a se propagar no outro meio com velocidade diferente, uma vez que a velocidade depende do meio. Além disso, dependendo

de como incide na fronteira que separa os meios, pode ocorrer desvio na direção de propagação após ultrapassar a interface.

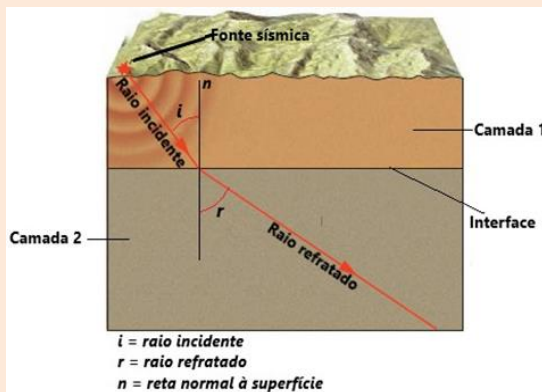


Figura 32: Raio de onda refratado em subcamada.
Fonte: Retirada do site mheducation.com. – adaptada.

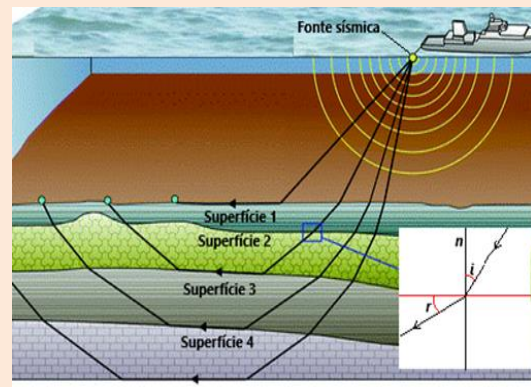


Figura 33: Refração de múltiplos raios em múltiplas subcamadas. Koop e Crutchley, 2017 - adaptada

O fenômeno da refração é regido por duas leis:

➤ **Primeira Lei**

O raio incidente, o raio refratado e a normal, estão contidos num mesmo plano, ou seja, são coplanares.

➤ **Segunda Lei**

Na segunda lei, Lei de Snell, se observa que a relação entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refração é constante.

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \quad (2)$$

Essa equação pode ser expandida para a equação (3), equação geral que relaciona o comprimento de onda λ , pois quando uma onda passa de um meio à outro sua frequência não se altera, além de relacionar o meio n à alteração da velocidade de propagação v .

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (3)$$

Onde:

v = velocidade de propagação

λ = Comprimento de onda

n = índice de refração. Que está relacionado à densidade do meio

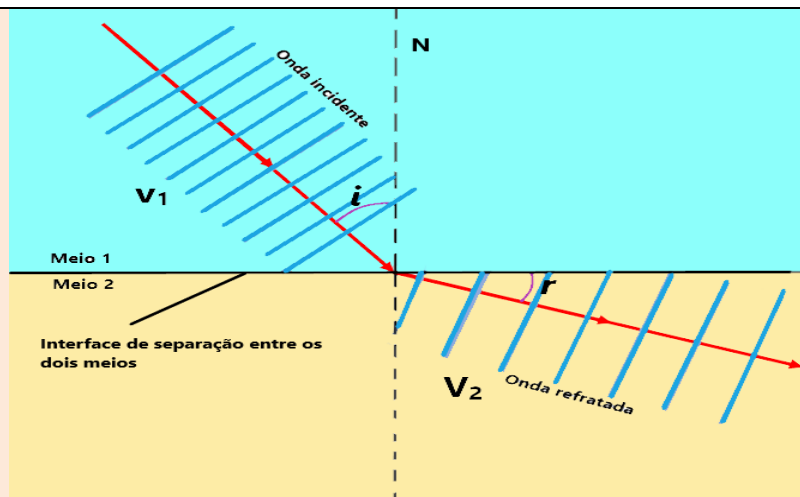


Figura 34: Esquema do fenômeno da refração. **Fonte:** Autor

$$v_2 > v_1$$

A causa de v_2 ser maior que v_1 está diretamente ligado à densidade dos meios. Nesse caso, a densidade do meio 1 é menor que a densidade do meio 2.

A partir da Lei de Snell, um caminho de um raio depende das velocidades das ondas através das diferentes camadas.

ÂNGULO CRÍTICO

Para o método de refração sísmica, o ângulo crítico é o valor do ângulo mais importante a ser entendido. Se o ângulo (\hat{r}) for igual a 90 graus, a onda refratada se propaga ao longo da interface de fronteira.

Se $\hat{r} = 90$, então $\sin \hat{r} = 1$ e o ângulo crítico (\hat{i}_c) é dado por:

$$\hat{i}_c = \text{sen}^{-1} \left(\frac{v_1}{v_2} \right) \quad (4)$$

Conforme a onda criticamente refratada se propaga ao longo da fronteira, de acordo com a Teoria das Wavelets e Huygen, a onda primária criticamente refratada atua como uma fonte de novas frentes de onda secundárias e caminhos de raios.

Esses caminhos de raios secundários saem de volta à superfície no ângulo crítico.

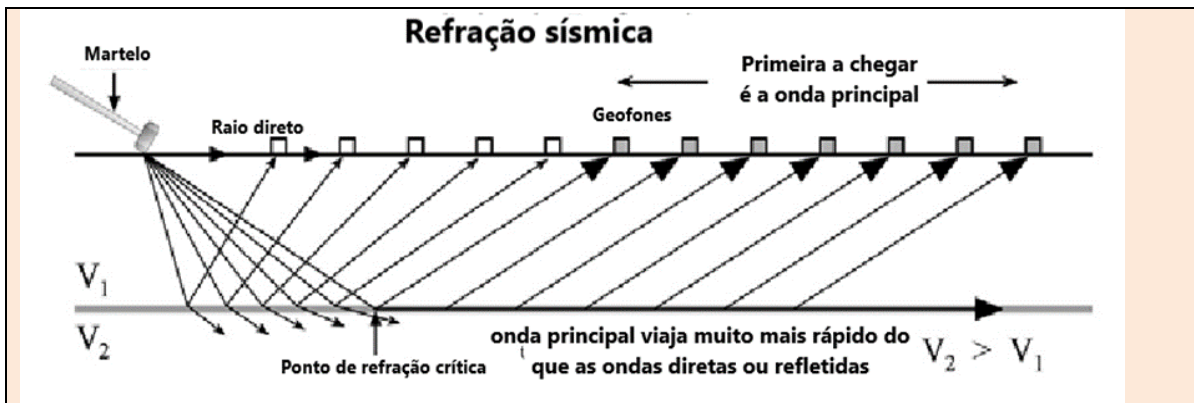


Figura 35: Representação dos raios criticamente refratados. Fonte: Murray e Vest, 2004. – adaptada.

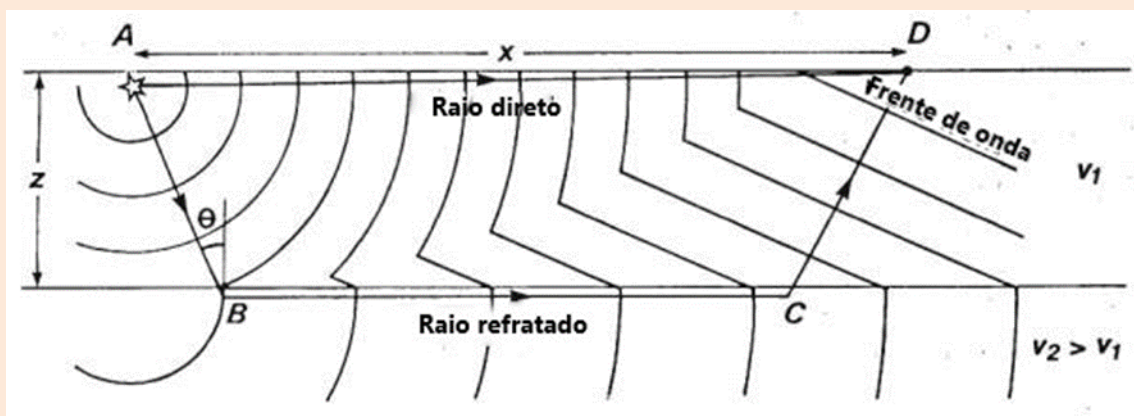


Figura 36: Representação das frentes de onda criticamente refratada. A fonte sísmica D detector. Fonte: Kearey et al, 2009.

Apesar do ensino de reflexão e refração nesse trabalho já vir sendo pautado com base nas ondas sísmicas, o professor pode ainda, apresentar de forma simples como são aplicados esses conceitos nos métodos sísmicos. Dando mais significado ao novo conhecimento.

Segundo momento (30 minutos).

MÉTODOS SÍSMICOS

Na implementação dos métodos sísmicos, considera-se um modelo simples de subsuperfície (modelo ideal), onde há duas camadas com propriedades diferentes, em que a camada superior possui densidade ρ_1 menor que a camada inferior ρ_2 . Além de considerar que seus limites são paralelos (entendida como um modelo horizontal de duas camadas).

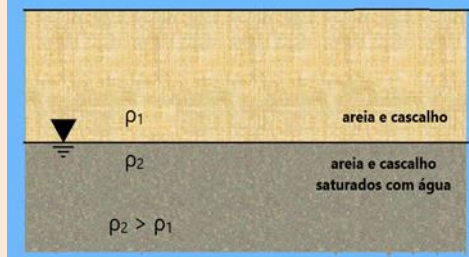


Figura 37: Modelo simples de subsuperfície para implementação dos métodos sísmicos. **Fonte:** Ocak, 2011 – adaptado

Para propagação geométrica de raios, os fundamentos da óptica são válidos, onde se aplica o princípio de Fermat (princípio do qual a onda percorre o caminho que leva menor tempo) e da lei de Snell, descrevendo como a onda muda de direção quando encontra uma fronteira de separação entre dois meios ultrapassando ou não. Considerando esses critérios, são utilizados instrumentos que inclui geofones, um sismógrafo e uma fonte sísmica para gerar ondas sísmicas a partir de (por exemplo, uma marreta, explosão, pistola de ar entre outros).

Geofones são receptores que registram os sinais sísmicos recebidos ao longo do perfil da pesquisa e transmite ao sismógrafo (instrumento que irá armazenar os dados que serão processados posteriormente por um supercomputador). Os sinais recebidos pelos geofones são de ondas diretas, refletidas e refratadas, mas, cada método sísmico seja de reflexão ou refração são programados apenas para registrar sinais do respectivo tipo de onda a qual fará parte da pesquisa.

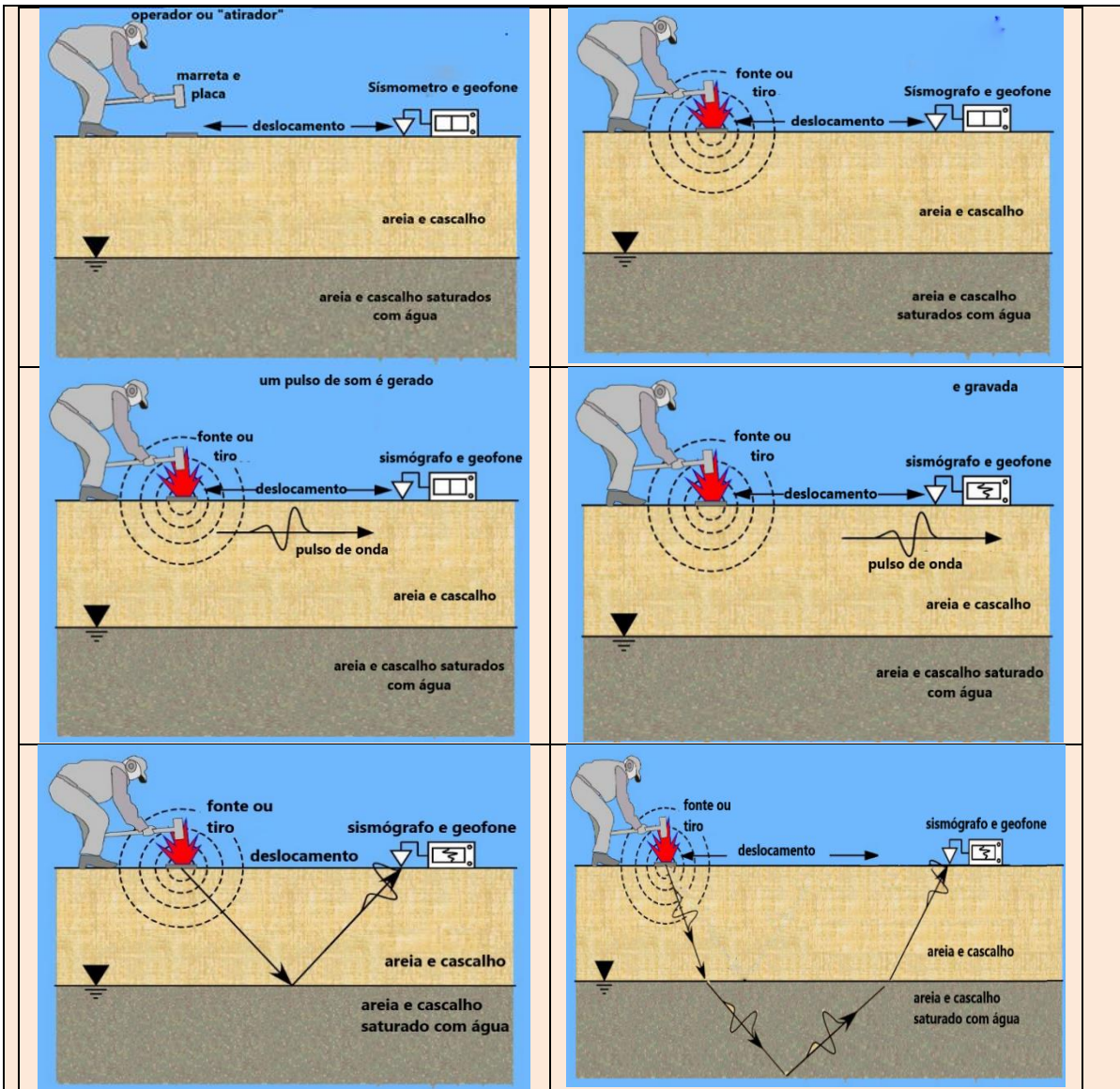


Figura 38: Esquema ilustrando como ocorre montagem, aplicação e coleta de dados dos métodos sísmicos de reflexão e refração. **Fonte:** Ocak, 2011 – adaptado

A onda sonora criada pela fonte sísmica (um golpe de marreta em uma placa de aço) viaja pelo subsolo nas três dimensões, onde seus raios de ondas sofrem reflexões e refrações. Se alguém souber o deslocamento (x) (da onda direta) entre o "tiro" e o sensor, e o tempo (t) que a onda leva para percorrer essa distância pode-se determinar a velocidade (V) do material:

$$v = \frac{x}{t} \quad (5)$$

O que possibilitará dizer, por exemplo, se o meio é base rochosa, solo seco ou solo saturado, entre outras possibilidades. Pois é conhecido em laboratórios a velocidade que uma onda se propaga de acordo com o tipo de material.

Material	Velocidade sísmica típica (m / s)
Ar	330
Água	1400-1500
Arenito	1400-4300
Calcário	5900-6100
Argila	1000-2500

Quadro 1: Velocidade das ondas sísmicas de acordo com o meio. **Fonte:** Retirado do site sub-surfrocks.

Esse critério também é usado para determinar a natureza das estruturas em profundidade abaixo da superfície, possibilitando assim a ilustração de subsuperfícies. Por exemplo, quando há camadas em determinadas profundidade, a determinação da profundidade é possível quando V e T são conhecidos, principalmente quando o método for o da reflexão. É analisando o comportamento sísmico das ondas nas subsuperfícies que se pode extrair informações das mesmas. Como as ondas P viajam nas velocidades mais rápidas, o primeiro sinal sísmico recebido por um geofone representa a chegada de uma onda P.

São cinco os tipos de ondas P de interesse nos métodos sísmicos de reflexão e refração:

- Onda direta

A onda direta se propaga ao longo do limite da camada superior da atmosfera (chamada camada1).

- Onda de mergulho

Uma onda transmitida através da camada inferior (camada 2) é denominada onda de mergulho.

- Onda refletida

Uma onda refletida entra com o mesmo ângulo de incidência que o ângulo de saída.

- Onda de cabeça

Se a onda incidente atingir o ângulo crítico, a onda da cabeça refratada criticamente viaja ao longo da interface da camada 1-camada 2.

- Onda refratada

Ondas refratadas propagam-se a partir da interface à medida que a onda principal progride, com ângulos de saída iguais ao ângulo crítico.

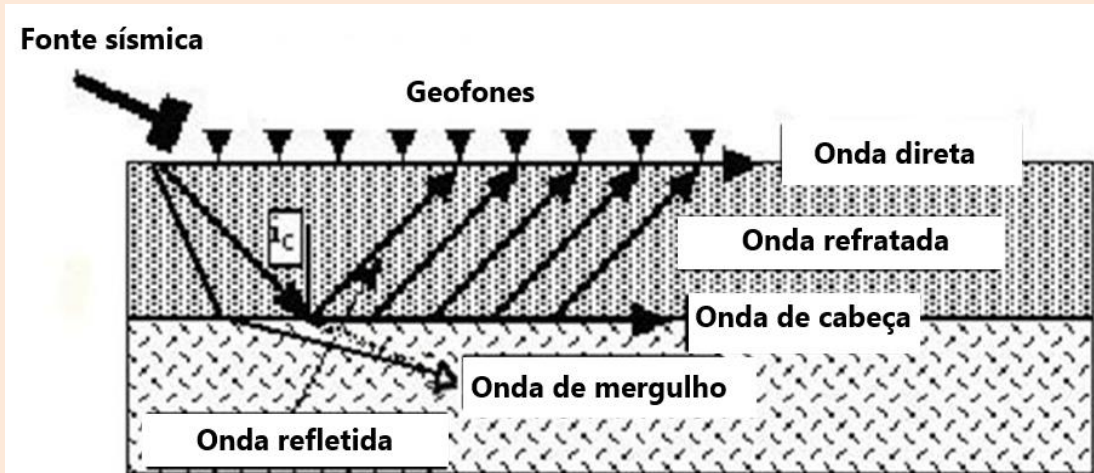


Figura 39: Tipos de ondas primárias que se considera nos métodos sísmicos. **Fonte:** Retirada do site ucl.ac.uk

O professor aponta os critérios que se usa na “leitura” para a aplicação dos métodos sísmicos em relação às ondas. E em seguida explica as imagens 38 e 39, que possibilita diferenciar as ondas direta, refletidas e refratadas.

1) A diferença relativa nos tempos de chegada do raio direto e os raios refletidos ou refratados à medida que o deslocamento aumenta.

2) A diferença na velocidade 'aparente' das três ondas ao longo da superfície

a) A onda direta viaja v_1 .

b) A onda refletida viaja $\frac{v_1}{\sin \theta_i}$ (onde θ_i é o ângulo de incidência). E a onda refratada vija

com $v_2 = \frac{v_1}{\sin \theta_c}$ (onde θ_c é o ângulo "crítico").

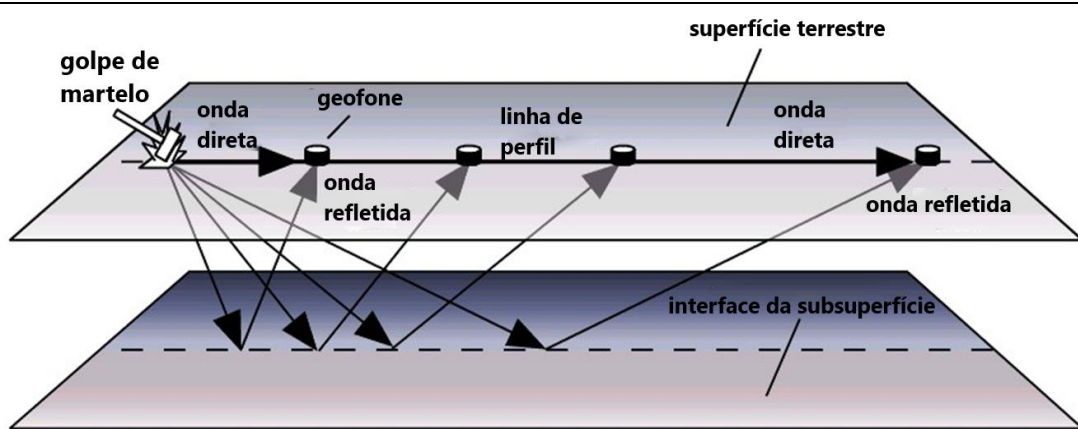


Figura 38: Caminho dos raios direto e refletido. Fonte: Ocak, 2011 – adaptado

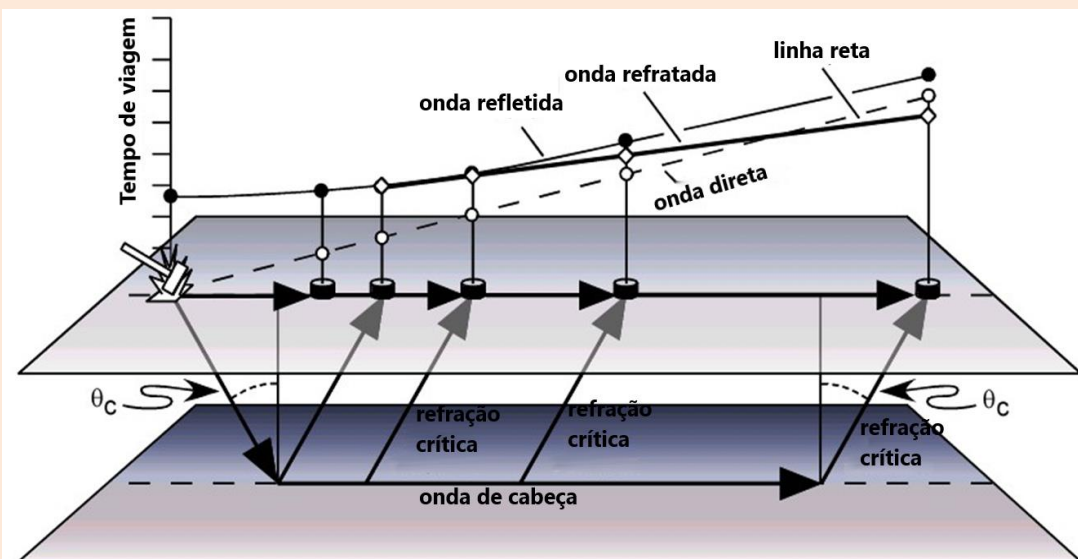


Figura 40: Relação do tempo de chegada das ondas criticamente refratada, refletida e onda direta e onda de cabeça. Fonte: Ocak, 2011 – adaptado

Enquanto o **método sísmico de reflexão** está mais voltado para a exploração de recursos minerais tais como petróleo, gás natural e lençóis freáticos, o **método sísmico de refração**, é usado mais em estudos sobre o interior da Terra, sendo ainda aplicado na localização de sítios arqueológicos, avaliação de riscos geológicos subterrâneos, definição da geometria de aquíferos e também como apoio à exploração de combustíveis fósseis e outros recursos naturais.

É com esse aparato de conhecimento apresentado de forma simplificada que se pode identificar ou determinada e também ilustrar cada ponto do interior da Terra.

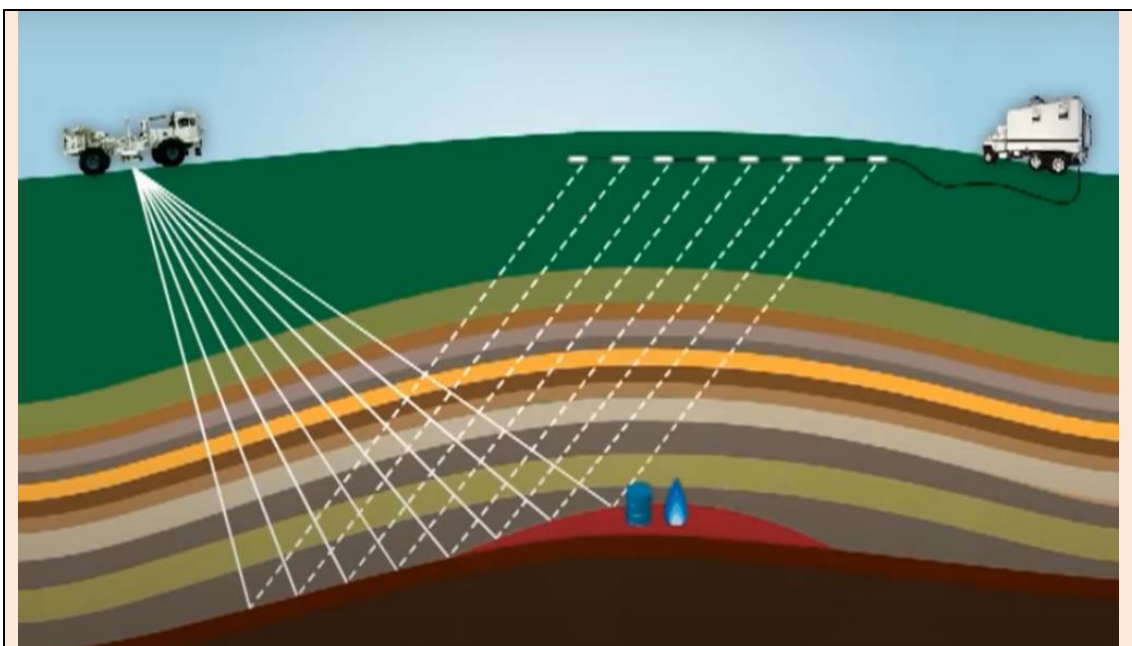


Figura 41: Imagem de vídeo explicando como ocorre a localização do petróleo **Fonte:** Retirado do You Tube

Terceiro momento: Atividade que pode ser passada com atividade extraclasse. (20 minutos)

Atividade avaliativa (Apêndice C do produto)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOUSTICSTODAY. [Site Institucional]. Disponível em: <<https://acousticstoday.org/temp-inversion/>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

AGRINHO. [Site Institucional]. Disponível em: <<https://www.agrinho.com.br/conheca-melhor-as-caracteristicas-do-solo.html>>. Acesso em: 03 jan. 2020.

CORREI, P. A. M. N. Estrutura interna da Terra. 14 maio 2015. Apresentação de Power Point. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/2343096/>>. Acesso em: 18 jan. 2020.

CRUTCHLEY, G. J.; KOPP, H. Métodos sísmicos de reflexão e refração. *In: MICALLEF, A.; KRASTEL, S.; SAVINI, A. Geomorfologia Submarina.* Springer. 2017. p. 43-62.

DUMITRACHE, G. Geography IGCSE: earthquakes. 27 mar. 2017. Apresentação de Power Point. Disponível em: <https://www.slideshare.net/georgedumitrache399/geography-igcse-earthquakes?from_action=save>. Acesso em: 13 jan. 2010.

EDUCAÇÃO GLOBO. [Site Institucional]. Disponível em: <<http://educacao.globo.com/fisica/assunto/ondas-e-luz/fenomenos-ondulatorios.html>>. Acesso em: 03 mar. 2020.

ERNESTO, M.; USSAMI, N. Introdução à Geofísica. São Paulo: Departamento de Geofísica da AIG/USP, 2002. Disponível em: <https://www.iag.usp.br/~eder/apostila/00_Introducao_a_Geofisica_IAG_USP.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2019.

ESCOLAEDTI. [Site Institucional]. Disponível em: <<https://www.escolaedti.com.br/a-criatividade-na-pratica>>. Acesso em: 03 jan. 2020.

FQ.PT. [Site Institucional]. Disponível em: <<http://www.fq.pt/luz/reflexao-da-luz>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

FROTA OCEONAGRÁFICA FRANCESA. [Site Institucional]. Disponível em: <<https://www.flotteoceanographique.fr/en/Facilities/Vessels-Deep-water-submersible-vehicles-and-Mobile-equipments/Mobile-equipments/Seismic-systems>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

FROTA OCEONAGRÁFICA FRANCESA. [Site Institucional]. Disponível em: <<https://html1.mheducation.com/smartbook2/data/138880/highlightmhe/17.2.htm>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

GESTÃO EDUCACIONAL. [Site institucional]. Disponível em: <<https://www.gestaoeducacional.com.br/principio-de-huygens-o-que-e/>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

GFYCAT. [Site Institucional]. Disponível em: <<https://gfycat.com/discover/seismic-waves-gifs>>. Acesso em: 18 jan. 2020.

GIPHY. [Site Institucional]. Disponível em: < <https://giphy.com/gifs/geology-earth-science-seismic-waves-RHJU6n6l5yyHJUzCSv>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

GIPHY. [Site Institucional]. Disponível em: < <https://giphy.com/gifs/earthquake-tcwAfR7AD5JCg>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

HIPERCULTURA. **11 curiosidades sobre terremotos que irão sacudir sua mente**.

Disponível em: < <https://www.hipercultura.com/fatos-sobre-terremotos/>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

INSTITUIÇÕES DE PESQUISA INCORPORADAS PARA SISMOLOGIA. [Site Institucional]. Disponível em: < <https://www.iris.edu/hq/>>. Acesso em 05 jan. 2020.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **Geofísica de exploração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LLAJA, C. R. **Geologia**. 28 jan. 2016. Apresentação de Power Point. Disponível em: < <https://www.slideshare.net/CarolRojasLlaja/geologa-9>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

MHEDUCATION. [Site Institucional]. Disponível em: < <https://html1.mheducation.com/smartbook2/data/138880/highlightmhe/17.2.htm>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES (MASW). [Site Institucional]. Disponível em: < <http://www.masw.com/Whatisseismicwave.html>>. Acesso em: 20 fev. 2020.

MURRAY, B. S.; VEST, M. B. **Abordagem geofísica de vários métodos para caracterizar um aquífero de rocha fraturada profunda, Anniston Army Depot, Anniston, Alabama**. 2004. Disponível em: < <https://www.semanticscholar.org/paper/Multi-Method-Geophysical-Approach-for-a-Deep-Army-Murray-Vest/33b83acd071dc6c2eaf5a0cee3859b470c857ddc>>. Acesso em: 30 jan. 2020.

OCAK, B. G. **Using Geophysics to Characterize the Subsurface: The Principles**. 6 dez. 2014. Apresentação de Power Point. Disponível em: < https://www.slideshare.net/turumaji/introduction-to-seismic-method?from_action=s>. Acesso em: 14 dez. 2019.

PORTALSAOFRANCISCO. [Site Institucional]. Disponível em: < <https://www.portalsaofrancisco.com.br/fisica/ondulatoria>>. Acesso em: 10 Jan. 2020.

RADIOUFPA. [Site Institucional]. Disponível em: < <http://radio.ufpa.br/index.php/ufpa-namadrugada/ondas-mecnicas/>>. Acesso em: 04 jan. 2020.

SOCRATIC Q&A. [Site Institucional]. <<https://socratic.org/questions/what-are-the-three-types-of-waves-generate-during-an-earthquake>>. Acesso em 07 jan. 2020.

TODAMATÉRIA. [Site Institucional]. Disponível em:< <https://www.todamateria.com.br/camadas-da-terra/>>. Acesso em: 21 dez. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. [Site Institucional].

Disponível em: < <http://www.lief.if.ufrgs.br/~cloliveira/introducao.html>>. Acesso em: 07 jan. 2020.

UNIVERSIDADE GLOBAL DE LONDRES. [Site Institucional]. Disponível em: <

<https://www.ucl.ac.uk/EarthSci/people/lidunka/GEOL2014/Geophysics4%20-%20Seismic%20waves/SEISMOLOGY%20.htm>>. Acesso em: 03 fev. 2020.

UNKNOWN. Sismologia. **Biologia e Geologia 10^a ano.** 17 fev. 2013. Disponível em: <

<http://10anocvg.blogspot.com/2013/02/sismologia.html>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

UNOMAHA. [Site Institucional]. Disponível em: <

<http://maps.unomaha.edu/Maher/geo117/part3/117geophysics.html>>. Acesso em: 15 jan. 2020.

VECTORSTOCK. [Site Institucional]. Disponível em: <

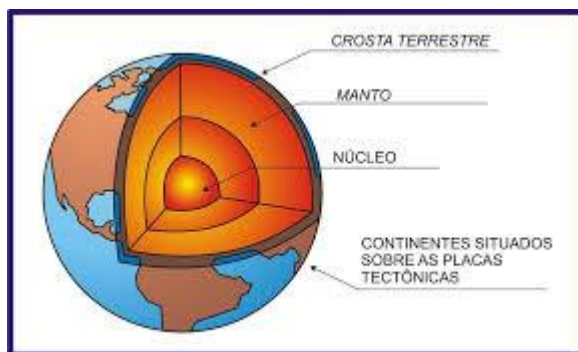
<https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/soil-layers-and-aquifer-vector-10501378>>. Acesso em 14 jan. 2020.

Apêndice A – Questionário (pré-teste e pós-teste)

Questionário a ser aplicado nas turmas de 2º ano do Ensino Médio Integrado do Instituto Federal do Acre, Campus Cruzeiro do Sul.

1 – Na região onde vivemos, muitas vezes sentimos a terra movimentar-se devido a ocorrência de terremotos, esses terremotos normalmente têm origem em países que fazem fronteiras com nosso estado (por exemplo, Peru) e normalmente esses terremotos ocorre a dezenas ou centenas de quilômetros de profundidade. De forma breve, diga como você acredita que a energia desses abalos sísmicos (terremotos) chega até nós?

2 – Atualmente sabemos que a Terra é formada por três grandes tipos de camadas: a crosta, o manto e o núcleo. Sabemos que o nosso planeta tem um raio aproximadamente 6378 Km e que a maior perfuração já feita pelo homem chega apenas a 12,2 km. Porém, a espessura da crosta varia de 0 a 100 km de profundidade, devido à grande espessura dessas e das outras camadas, isto nos faz se perguntar, de que forma descobrimos as três principais camadas internas da Terra, crosta, manto e o núcleo?



Fonte: conhecimentocientifico

3 – Analise as alternativas e marque (V) para verdadeira as opções que você acredita ter relação ou ser ondas mecânicas e com (F) falsas para as alternativas que você acredita não ter.

- () ondas sonoras () terremoto () ondas de rádio () micro-ondas () raio X
() Luz () ondas oceânicas () tsunami () vibração em molas

4 – As ondas mecânicas são oscilações que se propagam em diferentes meios materiais. Ainda sobre ondas mecânicas marque as alternativas em que acredita está correta com C e erradas com E.

- () Uma mesma onda pode possuir diferentes velocidades dependendo do meio à qual se encontra.
- () Uma mesma onda pode gerar várias outras ondas.
- () Uma onda além de transportar energia, também, transporta matéria.
- () Uma onda pode sofrer simultaneamente o fenômeno da reflexão e refração.

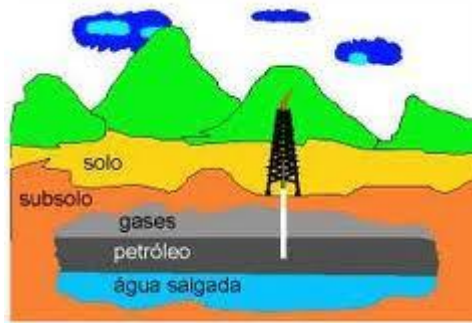
5 – A reflexão é um fenômeno ondulatório que pode ocorrer tanto em ondas mecânicas quanto em ondas eletromagnéticas. De acordo com sua opinião, marque a(s) alternativa(s) que você acredita descrever o fenômeno da reflexão.

- () reflexão ocorre quando uma onda ultrapassa uma interface de separação entre dois meios.
- () Na reflexão a onda tem sua velocidade alterada ao ser refletida ao meio em que já se propagava com o ângulo de reflexão igual ao ângulo de.
- () Na reflexão a onda é refletida ao meio em que já se propagava com o ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência sem sofrer alteração na velocidade
- () Não sei.

6 – A refração é um fenômeno ondulatório que pode ocorrer tanto em ondas mecânicas quanto em ondas eletromagnéticas. De acordo com o que você entende marque a alternativa a qual você acredita descrever o fenômeno refração.

- () refração ocorre quando a onda é refratada de volta ao meio em que já se propagava quando exposta a uma interface de separação de meios diferentes .
- () Na refração sua velocidade permanece a mesma quando ultrapassa a interface de separação entre dois meios de propriedades diferentes.
- () Na refração a velocidade é alterada quando a onda ultrapassa a interface de separação entre dois meios, podendo sofrer desvio na direção de propagação.
- () Não sei.

7 – O estudo do comportamento das ondas, possibilita sua aplicação e criação de tecnologias que abrange grandes áreas das ciências, como por exemplo, a medicina, as telecomunicações e a geofísica. Proporcionando respectivamente diagnósticos de doenças, rapidez na disseminação de informação e utilização de recursos naturais. A geofísica é a ciência que estuda as propriedades físicas da Terra, nas camadas superficiais, para investigar seu interior, onde se alojam os recursos naturais (petróleo, gás, minérios e água). De acordo com seus conhecimentos, descreva como ocorre o processo de descobrimento de petróleo, água e gás no subsolo.



Fonte: amora2012petroleo

8 – Um método de conhecer a interior da Terra é usar ondas sísmicas geradas artificialmente ou às naturais e posteriormente se analisa os dados obtidos por meio dessas ondas (Método sísmico). Comente, com suas palavras, como esse método funciona?

Apêndice B – Questionário avaliativo

ATIVIDADE AVALIATIVA

1) Na ocorrência de um terremoto, os sismógrafos identificam primeiro qual tipo de onda?

2) As ondas mecânicas podem se propagar com quais tipos de movimento?

3) Uma onda sísmica pode se propagar tanto em sólidos quanto em fluidos, qual o tipo de onda sísmica se propaga em sólidos e fluidos e qual o tipo de onda sísmica se propaga apenas em sólidos?

4) Como chegou-se à conclusão que o nosso planeta tem uma camada interna, que chama-se manto, na forma de fluido?

Apêndice C – Questionário avaliativo

ATIVIDADE AVALIATIVA

1 - Reflexão e refração são fenômenos comuns a todos os tipos de ondas, seja mecânica ou eletromagnética, assim, possibilitam aplicações em diversas áreas da ciência, das alternativas a seguir marque a aplicação, tecnologia que não tem relação com reflexão e refração:

- Sonar
- Ultrassom
- Fibra óptica
- Raio X

2 - De acordo com os conteúdos abordados, explique o que diferencia o fenômeno da reflexão do fenômeno da refração.

3 - Se tratando de ondas sísmicas, em uma situação comum, quando uma onda ultrapassa uma interface e a partir daí passa a se propagar com velocidade $v_2 > v_1$ podemos dizer que onda sofreu qual fenômeno?

4 - Na reflexão o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência, e na reflexão não é regra que o ângulo de incidência seja igual ao ângulo refratado. Quando uma onda incide em uma interface com um certo ângulo e refratada com um ângulo de 90° com à normal, qual nome damos a esse comportamento?
