



**MÉTODOS SÍSMICOS COMO UMA METODOLOGIA DE ENSINO E
APRENDIZAGEM DE REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE ONDAS MECÂNICAS NO
ENSINO MÉDIO.**

Gedeel Souza dos Santos

Defesa de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro

Rio Branco – AC

Março – 2021

**MÉTODOS SÍSMICOS COMO UMA METODOLOGIA DE ENSINO E
APRENDIZAGEM DE REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE ONDAS MECÂNICAS NO
ENSINO MÉDIO.**

Gedeel Souza dos Santos

Orientador:
Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro – UFAC
Orientador/Presidente

Dr. Carlos Henrique Moreira Lima – UFAC
Membro Interno

Dr. Francisco Márcio Barboza - UFRN
Membro Externo

Rio Branco – AC
Março - 2021

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

S237m Santos, Gedeel Souza dos, 1989 -

Métodos sísmicos como uma metodologia de ensino e aprendizagem de reflexão e refração de ondas mecânicas no ensino médio / Gedeel Souza dos Santos; orientador: Prof. Dr. Antônio Romero da Costa Pinheiro. Rio Branco, 2021.

100 f.: il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física. Rio Branco, Acre, 2021.

Inclui referências e apêndice.

1. Física - estudo e ensino 2. Métodos sísmicos 3. Aprendizagem significativa - ensino médio 4. Transposição didática I. Pinheiro, Antônio Romero da Costa (orientador) II. Título

CDD: 530

Dedico este trabalho aos meus pais que me possibilitaram melhores oportunidades que as tiveram e a minha esposa e minha filha que me dão força para seguir buscando mais qualificação.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por toda energia e sanidade recebida.

Sou grato aos amigos da vida acadêmica pelo apoio ao meu crescimento intelectual.

Sou grato àqueles que nunca acreditaram em meu potencial (essa, a melhor ajuda indireta que pude ter, combustível extra para aquisição de meus conhecimentos).

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro, exemplo de profissional a ser seguido, pelo incentivo, dedicação, comprometimento e compreensão durante a construção da proposta.

Aos professores do mestrado profissional pelas orientações, incentivos e ensinamentos.

À CAPES e à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação pelo apoio e as condições necessárias para a realização do trabalho.

Ao IFAC, instituição que tenho como segunda casa, onde me formei e hoje trabalho ajudando na formação de outras que necessitam apenas de uma oportunidade.

E por fim, aos meus amigos e colegas da turma do MNPEF-2019 (Polo UFAC) meu muito obrigado

RESUMO

MÉTODOS SÍSMICOS COMO UMA METODOLOGIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM DE REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE ONDAS MECÂNICAS NO ENSINO MÉDIO.

Gedeel Souza dos Santos

Orientador:

Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Este trabalho tem como objetivo a construção e análise de uma sequência didática para o ensino e aprendizagem de conceitos introdutórios e os fenômenos da reflexão e refração de ondas mecânicas, utilizando como abordagem a propagação de terremotos nas camadas da Terra, bem como a sísmica da reflexão e refração utilizada para determinação da localização de hidrocarbonetos. A pesquisa é fundamentada na teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel pois, ao relacionar os terremotos, fenômenos que frequentemente ocorrem na região a qual se localiza a escola que foi aplicada a sequência didática, permite aproximação dos alunos com o conteúdo. A pesquisa foi desenvolvida em turmas do segundo ano do ensino médio integrado aos cursos de Agropecuária e Meio Ambiente, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre – Campus Cruzeiro do Sul envolvendo 39 alunos. As aulas para aplicação da sequência didática ocorreram em formato síncrono no período em que as aulas estavam sendo ofertadas remotamente devido a suspensão das aulas presenciais ocasionadas pela pandemia da covid-19. O trabalho dividiu-se em três partes, aplicação de questionário semiestruturado para identificação de conhecimentos prévios, a aplicação da sequência didática e a reaplicação do questionário com o objetivo de identificar se houve modificação na estrutura cognitiva dos estudantes. Os questionários pré-teste e pós-teste foram incluídos em formulários Google. Os resultados indicaram que houve a ocorrência de aprendizagem significativa dos conceitos expostos na sequência didática, a partir da comparação da análise entre os dados do pré-teste e pós-teste. Acreditamos que os objetivos da sequência didática e conseqüentemente da dissertação foram completamente alcançados, oportunizando uma alternativa de metodologia de ensino e aprendizagem dos conceitos de onda mecânicas com base em áreas tecnológicas e envolvendo o cotidiano dos alunos.

Palavras-chave: Ensino de Reflexão e Refração; Métodos Sísmicos, Aprendizagem Significativa; Transposição Didática.

Rio Branco – AC

Março - 2021

ABSTRACT

SEISMIC METHODS AS A METHODOLOGY OF TEACHING AND LEARNING OF REFLECTION AND REFRACTION OF MECHANICAL WAVES IN HIGH SCHOOL

Gedeel Souza dos Santos

Advisor:

Dr. Antonio Romero da Costa Pinheiro

Master's dissertation submitted to the Graduate Program in the Professional Master's Degree in Physics Teaching (MNPEF), as part of the necessary requirements to obtain the title of Master in Physics Teaching.

This work aims to construct and analyze a didactic sequence for teaching and learning introductory concepts and the phenomena of reflection and refraction of mechanical waves, using as an approach the propagation of earthquakes in the layers of the Earth, as well as the seismic reflection and refraction used to determine the location of hydrocarbons. The research is based on David Ausubel's theory of significant learning because, when relating earthquakes, phenomena that often occur in the region to which the school that was applied to the didactic sequence is located, allows students to approach the content. The research was developed in classes of the second year of high school integrated to the courses of Agriculture and Environment, of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Acre — Campus Cruzeiro do Sul involving 39 students. Classes for the application of the didactic sequence took place in a synchronous format during the period in which the classes were being held remotely due to the suspension of face-to-face classes caused by the covid-19 pandemic. The study was divided into three parts, application of a semi-structured questionnaire to identify previous knowledge, the application of the didactic sequence and the reapplication of the questionnaire in order to identify whether to hear changes in the cognitive structure of the students. Pretest and post-test questionnaires were included in Google forms. The results indicated that there was the occurrence of significant learning of the concepts exposed in the didactic sequence, from the comparison of the analysis between the pretest and post-test data. We believe that the objectives of the didactic sequence and consequently of the dissertation were completely achieved, opportunistic an alternative of teaching and learning methodology of mechanical wave concepts based on technological areas and involving the daily lives of students.

Keywords: Reflection and Refraction Teaching; Seismic Methods; Meaningful Learning; Didactic Transposition.

Rio Branco – Ac

March - 2021.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES – FIGURAS

Figura 1.1: Mapa do registro da atividade sísmica no território nacional.....	13
Figura 3.1: Representação do fenômeno da reflexão.....	25
Figura 3.2: Representação da primeira lei da reflexão. r_i é o raio incidente, r_r é raio refletido e N é reta normal.....	25
Figura 3.3: Representação da segunda lei da reflexão.....	26
Figura 3.4: Representação da trajetória de raio refratado.....	27
Figura 3.5: Principais componentes e subsistemas do sistema Terra. As interações entre os componentes são governadas pela energia do Sol e do interior do planeta e organizadas em três geossistemas globais: o sistema do clima, o sistema das placas tectônicas e o sistema do geodínamo.....	28
Figura 3.6a: Fonte sísmica de origem natural (terremoto).....	31
Figura 3.6b: Fonte sísmica de origem artificial (explosão).....	31
Figura 3.7a: propagação de onda longitudinal.....	31
Figura 3.7b: propagação de onda longitudinal.....	31
Figura 3.8a: propagação de onda transversal.....	32
Figura 3.8b: propagação de onda transversal.....	32
Figura 3.9: representação da ordem de chegada e quantidade de energia das ondas no retorno à superfície.....	33
Figura 3.10: Representação do comportamento radial da frente de onda.....	34
Figura 3.11: Raios de ondas refletidas.....	36
Figura 3.12: raios de ondas refratadas e refletidas.....	36
Figura 3.13: Sistema para levantamento de dados sísmicos.....	38
Figura 3.14: gráfico que mostra a variação do movimento vertical do solo em relação ao tempo.....	38
Figura 3.15: (a) Seção de reflexão sísmica através de um domo de sal em subsuperfície; (b) Interpretação estrutural simples de seção sísmica, ilustrando algumas trajetórias possíveis para raios refletidos.....	39
Figura 3.16: reflexão de ondas sísmicas e captação.....	40
Figura 3.17: Representação da trajetória de um raio sísmico.....	41
Figura 3.18: Representação da refração de ondas sísmicas.....	43
Figura 3.19: Representação dos raios de ondas criticamente refratadas.....	44
Figura 3.20: Representação das frentes de onda criticamente refratada. A fonte sísmica D detector.....	44

LISTA DE ILUSTRAÇÕES - IMAGENS

Gráfico 1: Resultado das questões abertas pre-teste.....	48
Gráfico 2: Resultado das questões fechadas pre-teste.....	51
Gráfico 3: Resultado das questões abertas pos-teste.....	53
Gráfico 4: Resultado das questões fechadas pós-teste.....	54
Gráfico 5: Comparativo entre os resultados positivos no pré-teste e pós-teste.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição de participantes por turma.....	47
Tabela 2. Questões abertas.....	48
Tabela 3: respostas dos alunos nas questões abertas avaliadas pré-teste como:.....	48
Tabela 4. Distribuições das questões fechadas.....	50
Tabela 5: respostas dos alunos nas questões abertas pós teste avaliadas como:.....	53

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo geral.....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 A TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL.....	16
2.1.1 Requisitos para ocorrência da aprendizagem significativa	18
2.1.2 Subsúnciores, de onde vem? E quando não existem?	18
2.1.3 Sequência didática como Material Potencialmente Significativo.	19
2.2 IMPORTÂNCIA DA IMPLEMENTAÇÃO DAS ONDAS SÍSMICAS NO ESTUDO DAS ONDAS MECÂNICAS NO ENSINO MÉDIO ATRAVÉS DE UMA TRANPOSIÇÃO DIDÁTICA DOS MÉTODOS SÍSMICOS	20
3. FENÔMENOS DA REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE ONDAS MECÂNICAS	22
3.1 CONCEITOS BÁSICOS DE ONDAS MECÂNICAS	22
3.1.1 Reflexão das ondas.....	24
3.1.2 Refração de ondas	26
3.2 O USO DA ONDULATÓRIA PARA CONHECIMENTO DO INTERIOR DA TERRA.....	27
3.2.1 Estudo e exploração do interior da Terra a partir da Geofísica.	29
3.3 PROPAGAÇÃO DE ONDAS NO INTERIOR DA TERRA.....	30
3.4 PROPRIEDADE DAS ONDAS SÍSMICAS	33
3.5 MÉTODOS SÍSMICOS	34
3.6 AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS SÍSMICOS	36
3.7 MÉTODO SÍSMICO DE REFLEXÃO	39
3.7.1 Reflexão de ondas sísmicas.....	39
3.8 MÉTODO DA REFRAÇÃO SÍSMICA.....	42
3.8.1 Refração de ondas sísmicas.....	42
3.8.2 Ângulo crítico.....	43
4. METODOLOGIA	44
4.1 POPULAÇÃO DO ESTUDO	44
4.2 PRODUÇÃO DE DADOS.....	45
4.3 QUANTO À COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	45
4.4 PRODUTO EDUCACIONAL	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1 ANÁLISE DA PRIMEIRA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO (PRÉ-TESTE)	47
5.2 ANÁLISE DA REAPLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO (PÓS-TESTE)	51
5.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS POSITIVOS ENTRE PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE.....	54
6. CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

Apêndice A – Questionário (pré-teste e pós-teste).....	61
Apêndice B – Produto Educacional.....	64

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o professor, além da dificuldade de transpor didaticamente os conteúdos de Física em um curto período de tempo disponibilizado para oferta da componente curricular, tem que disputar o interesse dos alunos com as mais variadas distrações. Atrelado a isso, os próprios alunos não procuram aprender, sendo um dos motivos, não enxergar o estudo como forma de evoluir. Isso dificulta muito o ensino de física, visto que, de acordo com David Ausubel (MOREIRA, 1997), a predisposição do aluno em aprender é um fator crucial para a ocorrência de uma aprendizagem significativa.

Tendo em vista as características inerentes às ciências físicas, contemplar ciências da natureza e matemática, nesse caso o ensino de geociências, o planejamento das aulas ganha ainda mais importância, mesmo o tempo dos professores já sendo limitado. Visto que, o desinteresse dos alunos quanto às aulas de Física, pode estar relacionado às dificuldades na assimilação e no entendimento dos conteúdos da disciplina faltando relação com fenômenos físicos ocorridos no seu cotidiano com os conteúdos teóricos expostos em sala de aula (RICHTER e SAUERWEIN, 2017). Isto, tanto estimula o desinteresse como causa grande repulsão à disciplina.

Então, busca-se propor uma alternativa ao ensino da reflexão e refração de ondas mecânicas e alguns conceitos ondulatórios, envolvendo a aplicação dos conceitos desses fenômenos aplicados em áreas de pesquisa e exploração de recursos naturais relacionando o conhecimento científico aplicado e o que se ensina em sala de aula, de forma a estimular o interesse dos alunos, deixando o aluno predisposto a aprender e proporcionando como resultado, a participação mais ativa em sala de aula.

Para isso, este trabalho apresenta uma sequência didática, como produto educacional, na concepção de que se pode contribuir significativamente na apropriação do conhecimento dos fenômenos de reflexão e refração de ondas mecânicas e alguns conceitos ondulatórios. Partindo da abordagem dos terremotos, que fazem parte do cotidiano dos estudantes no interior do Acre, pois os alunos com os quais será trabalhado a sequência didática, vivem em localidade cujo a ocorrência de terremotos é considerada alta, figura 1.1. É envolvido também na sequência didática a apresentação dos conteúdos de reflexão e refração, através da abordagem de conceitos utilizados nos métodos sísmicos da reflexão e refração de ondas mecânicas explorados na Sísmica.



Figura 1.1: Mapa do registro de atividade sísmica no território nacional **Fonte:** Acre sondagens e fundações 2020 - adaptada

O conteúdo será trabalhado utilizando situações e estudos tratados na Sísmica, apresentando para os alunos, a Geofísica, uma área de conhecimento da Geociência pouco apresentada nos livros didáticos, que na grande maioria abordam os fenômenos de reflexão e refração, apenas com o estudo da propagação de ondas em corda, superfície aquática e mais comumente em óptica geométrica com o comportamento da luz, limitando esses fenômenos, indiretamente, às ondas eletromagnéticas. Como nos livros: Ser protagonista: Física II (VÁLIO *et al*, 2016), Física II (NEWTON *et al*, 2016), Física II (GUIMARÃES *et al*, 2016), Física II (BONJORNO *et al*, 2016), Física II: Interação e Tecnologia (GONÇALVES FILHO e TOSCANO, 2016).

A Geofísica é a ciência que aplica os conhecimentos da Física para estudar a hidrosfera, atmosfera e principalmente as camadas internas da Terra, sem a necessidade de perfurá-la, para isso, segundo Enesto e Ussami (2002) utiliza-se de Métodos Sísmicos, Métodos Gravimétrico, Método Magnético dividido em Paleomagnetismo e Magnetoestratigrafia, Métodos Radiométricos e Método Termométrico. Cada método desse tem origem devido às propriedades física da Terra, como: Elástica, Gravitacional, Magnética, Radioativa, Térmica e Elétrica.

Para o desenvolvimento e aplicação deste trabalho com base nos conhecimentos Geofísicos, será utilizado apenas os conhecimentos dos Métodos Sísmicos de reflexão e

refração, que utiliza o fato das diferentes formações geológicas apresentarem, de forma geral, diferentes velocidades de propagação de ondas elásticas, o que proporcionam os fenômenos da refração e reflexão. Desta forma, o produto educacional a ser produzido será uma proposta diferenciada das metodologias de ensino de física para o ensino médio abordada nos livros didáticos.

Os métodos sísmicos apresentados neste trabalho baseiam-se na emissão de ondas sísmicas, geradas artificialmente através do impacto de explosões, tiros de ar comprimido, impactos mecânicos ou vibradores. As ondas criadas por um desses métodos, viajam pelo interior da Terra através da transferência de energia entre as partículas a profundidades que serão tanto maiores quanto à energia liberada. (ENESTO e USSAMI, 2002).

A implementação de uma abordagem sísmica no ensino de reflexão e refração, é devido a perspectiva de que ela se mostre uma ferramenta de grande valor no apoio ao ensino e aprendizagem dos conceitos de tais fenômenos, pois traz ao aprendiz uma área de conhecimento que está presente no cotidiano dos estudantes, dificilmente abordada em livros didáticos embora a sísmica seja considerada uma área aplicada de ciência básica.

Outro aspecto importante para o desenvolvimento da pesquisa, já citado anteriormente, é devido à grande incidência de eventos de terremotos no território brasileiro (ASSUMPÇÃO, 2018), sobre tudo, na região do Estado do Acre, localizada na zona de sismicidade alta no país (LOPES, 2011). Além da dependência da utilização de recursos naturais (como o petróleo e gás natural) localizados a partir de levantamentos sísmicos, permitindo dessa abordagem sísmica trabalhar alguns conceitos ondulatórios e os fenômenos da reflexão e refração no ensino médio de forma significativa.

A sísmica é pouco citada nos livros didáticos o que dificulta ao aluno saber como ocorre a localização de um reservatório de hidrocarboneto, água subterrâneas e minerais, cujo sua exploração inicia com a aplicação dos métodos sísmicos de reflexão e refração. Outro ponto importância é como se determina a geologia estrutural da Terra, tendo em vista a impossibilidade de perfurar poços com extensão do raio terrestre, inviabilizando o estudo de forma direta da estrutura interna do nosso planeta.

Dada a importância de uma abordagem sísmica, diferente das propostas apresentadas nos livros didáticos. Pode esta ser favorável a aprendizagem significativa de conceitos ondulatórios e conceitos dos fenômenos de reflexão e refração?

Com essa abordagem, espera-se um aluno predisposto a aprender o conteúdo exposto, circunstância indicada por David Ausubel¹ (1918 – 2008), necessária para ocorrência da aprendizagem significativa (PELIZZARI et al, 2002) tornando-se favorável ao ensino e aprendizagem dos conteúdos presente na sequência didática. Vale destacar, que o trabalho não busca comparar esta abordagem com as abordagens dos livros didáticos e sim, diversificar o ensino desses conteúdos mantendo ou até melhorando os níveis de aprendizagem.

A análise da eficiência se dará por meio do tratamento de dados colhidos a partir de questionário aplicado antes da sequência didática, uma vez que, segundo Ausubel, há a necessidade de averiguação previamente dos conhecimentos prévios quando se quer ensinar de forma significativa. E pós aplicação da sequência didática para avaliar se houve assimilação e consequentemente se a sequência didática pode ser considerada uma nova e boa ferramenta de ensino e aprendizagem para o ensino introdutório de ondas mecânicas e os fenômenos de reflexão e refração de ondas mecânicas.

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma: no capítulo 2 é apresentado o referencial teórico, isto é, a teoria de aprendizagem e uma breve revisão de algumas publicações que deixa clara a importância da abordagem do tema deste trabalho e que darão amparo aos conceitos físicos; os conteúdos de ondas mecânicas e uma apresentação simplificada dos métodos sísmicos serão abordados no capítulo 3; no capítulo 4, será exposta a metodologia da construção e aplicação do produto educacional e como foram analisado os dados da aplicação do mesmo. Os resultados serão apresentados no capítulo 5 da dissertação. O produto educacional está disponível no apêndice B.

¹ Ausubel era professor Emérito da Universidade de Columbia, em Nova York. Médico-psiquiatra de formação dedicou sua carreira acadêmica à psicologia educacional

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho visa propor uma metodologia de ensino e aprendizagem em forma de sequência didática baseada nos métodos sísmicos, na perspectiva de diversificar o ensino introdutório de ondas mecânicas e dos fenômenos da reflexão e refração de ondas mecânicas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Produzir uma sequência didática baseada nos métodos sísmicos de reflexão e refração de ondas mecânicas;
- Envolver os conceitos de geociências no ensino de física
- Abordar alguns conceitos ondulatórios através da propagação dos terremotos;
- Tornar conceitos abstratos de reflexão e refração de ondas mais práticos ao longo da sequência didática;
- Verificar qualitativamente a influência do produto educacional no desenvolvimento da estrutura cognitiva dos alunos;
- Proporcionar mais opções de objetos de aprendizagem no ensino de ondas mecânicas por meio de um produto educacional.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

É apresentado a seguir uma síntese da teoria da aprendizagem significativa a partir da proposta original de David Ausubel, considerada a visão clássica da aprendizagem significativa e uma breve revisão de algumas publicações buscando evidenciar a importância da abordagem do tema deste trabalho.

2.1 A TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL

“A perspectiva cognitiva clássica da aprendizagem significativa² é proposta por David Ausubel na década de sessenta (Ausubel, 1963; 1968) e por ele reiterada mais recentemente (Ausubel, 2000)” (MOREIRA, 2016. p. 30).

Segundo Moreira (2016), a ideia da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, é que, na possibilidade de escolher o fator mais importante da aprendizagem significativa, este seria o que o aprendiz já sabe, aquele conhecimento já existente na sua

² Aprendizagem cognitiva está diretamente relacionada no armazenamento organizado das informações na mente do indivíduo que aprende, toda essa complexidade é conhecida como estrutura cognitiva.

estrutura cognitiva, e o ensino deveria levar em conta tal conhecimento, mas, para isso, necessitaria a averiguação prévia deste conhecimento.

Corroborado com o entendimento de Artuso (2006), que precisamos ter ferramentas e visão estratégica para favorecer a aprendizagem significativa. Uma primeira ação estratégica seria fazer um “mapeamento do campo”: situar-se no contexto e identificar a natureza do que precisa ser aprendido. Em seguida, traçar o destino e definir as rotas que levem ao sucesso da aprendizagem. Depois, seria necessário identificar os recursos disponíveis e outros que poderiam ser construídos ao longo do caminho.

Segundo a visão de Pelizzari sobre aprendizagem significativa esta:

[...] tem vantagens notáveis, tanto do ponto de vista do enriquecimento da estrutura cognitiva do aluno como do ponto de vista da lembrança posterior e da utilização para experimentar novas aprendizagens, fatores que a delimitam como sendo a aprendizagem mais adequada para ser promovida entre os alunos. (PELIZZARI et al, 2002, p. 39)

Segundo Moreira (2016) ocorre aprendizagem significativa quando um novo significado é construído a partir da interação entre um conhecimento já existente na estrutura cognitiva do aluno e um conteúdo relevante para o mesmo, ficando assim caracterizada a aprendizagem significativa, desde que estes se relacionem de forma não-arbitrária e substantiva e ainda exista predisposição do aprendiz.

Ao não seguir esses critérios na execução de uma proposta didática, a aprendizagem pode ocorrer de maneira mecânica, sem significado e sem ligação com os elementos do cognitivo do ensinado.

Ao defender que a variável que mais influência na aprendizagem significativa, é o que o aluno já sabe, estrutura de conhecimento específica. Ausubel a chama de “conceito subsunçor” ou simplesmente “subsunçor³”, uma ideia já existente na estrutura cognitiva de quem aprende que serve de ancoradouro a uma nova informação de forma que esta adquira significado para o aprendiz. De acordo com o autor brasileiro,

Pode-se, então, dizer que a aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação "ancora-se" em conceitos relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva. Ou seja, novas ideias, conceitos, proposições podem ser aprendidos significativamente (e retidos), na medida em que outras ideias, conceitos,

³ A palavra “subsunçor” não existe em português, trata-se de uma tentativa de traduzir a palavra inglesa “subsumir”.

proposições, relevantes e inclusivos estejam, adequadamente claros e disponíveis, na estrutura cognitiva do indivíduo e funcionem, dessa forma, como ponto de ancoragem às primeiras. (MOREIRA, 2016, p. 8-9)

Na medida em que novos conceitos vão sendo assimilados, retidos pelo aprendiz, o subsunçor, conhecimento prévio usado como ancoradouro, se diferencia tornando o cada vez mais elaborado com a modificação cada vez mais sofisticada e elementos da estrutura cognitiva se relacionam e se reorganizam adquirindo novos significados.

2.1.1 Requisitos para ocorrência da aprendizagem significativa

Um dos fatores essenciais à aprendizagem significativa, é a escolha do material (conteúdo ou conceitos) a ser estudado (aprendido), este deve ser associável (ou incorporável) à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não-arbitrária e substantiva. Ausubel dá nome ao material, com essas características, de potencialmente significativo.

De acordo com Frazon, as condições são similares às de Moreira para a efetivação da aprendizagem significativa.

1 – o conteúdo de aprendizagem deve possuir significação lógica real ou potencial; 2 – entre os conteúdos de aprendizagem e os conhecimentos prévios dos alunos deve existir numa distância relativa para que os alunos encontrem sentidos psicológicos (novo motivo) e 3 – que o aluno esteja disponível tenha pré-disposição, vontade e se esforce para aprender. (FRAZON, 1999, p. 11)

O outro fator preponderante, segundo Moreira (2016), à ocorrência da aprendizagem significativa, é a disposição do aprendiz de relacionar, de maneira substantiva e não-arbitrária, o novo material, potencialmente significativo, à sua estrutura cognitiva, ou seja, que o aluno esteja receptivo ao que será ensinado. Caso contrário o processo de aprendizagem, assim como seu produto, será meramente mecânico. Da mesma forma, por maior que seja a disposição do aprendiz, nem o processo nem o produto da aprendizagem serão significativos se o material não for potencialmente significativo.

2.1.2 Subsunoçores, de onde vem? E quando não existem?

Na aprendizagem significativa, há a necessidade da preexistência de significado, subsunoçores, que são pré-requisitos para ocorrência da aprendizagem significativa. Então, onde se inicia o processo? A aquisição de significado ocorre de maneira gradativa. Nas crianças, a formação dos conceitos ocorre pelo tipo de aprendizagem, à aprendizagem por descoberta, onde o indivíduo gera e testa suas hipóteses. O que possibilita à criança quando atingir a idade escolar a existência de um conjunto de conceitos para a ocorrência da aprendizagem por recepção.

Mas há etapas, onde crianças mais velhas ou adultos, mesmo tendo conceitos formados a partir da geração e testagem de hipóteses, se deparam, em situações, onde a aprendizagem exige ser passada por recepção, porém, não dispõe dos subsunçores necessários à aprendizagem significativa de um certo corpo de conhecimento (MOREIRA, 2016);

Assim, Moreira (2016) argumenta que Ausubel propõe o uso de organizadores prévios no papel de ancoradouro ao novo conhecimento e com isso, possibilita o desenvolvimento de subsunçores para facilitar aprendizagem subsequente. Ainda segundo Moreira (2016) o “uso de organizadores prévios é apenas uma estratégia por ele proposta para, deliberadamente, manipular a estrutura cognitiva, a fim de facilitar a aprendizagem significativa”. Servindo de ponte e ao mesmo tempo, preenchendo lacunas entre o que o aluno conhece e o que precisa conhecer.

2.1.3 Sequência didática como Material Potencialmente Significativo.

Segundo Mazaro (2019) a elaboração de uma sequencial didática com característica de material potencialmente significativo é fundamental para despertar o interesse dos alunos e sua curiosidade pelos temas abordados em sala, proporcionando-lhe firmeza, segurança e mais conhecimento acerca dos conceitos relacionáveis ao cotidiano deles, possibilitando a apropriação do conhecimento.

Com o incontável número de meios que o aluno possui para adquirir informações, deve ser essencial que o professor possua consciência de que seu papel deve ser o de mediador do conhecimento. E compreender a forma com que se dá a apropriação do conhecimento e prover caminhos para favorecer esse processo são as principais contribuições que uma Sequência Didática pode trazer ao professor. (ADMIRAL, 2012)

Com isso, elaboração da sequência didática que envolve a inclusão de abalos sísmicos, que ocorrem frequentemente na região onde reside os estudantes, permite caracterizar o material como potencialmente significativo, uma vez que o mesmo tem característica não-arbitrária permitindo envolver algo relacionável ao seu cotidiano, já existindo pelos menos a curiosidade dos alunos quanto à ocorrência desses abalos sísmicos e sendo também relevante aprender algo relacionado à terremotos. Assim, pode se dizer que o aluno ficará disposto a relacionar o novo material a sua estrutura cognitiva, tornando-se receptivo a aprendizagem.

2.2 IMPORTÂNCIA DA IMPLEMENTAÇÃO DAS ONDAS SÍSMICAS NO ESTUDO DAS ONDAS MECÂNICAS NO ENSINO MÉDIO ATRAVÉS DE UMA TRANPOSIÇÃO DIDÁTICA DOS MÉTODOS SÍSMICOS

Para Santos e Aguiar (2012) o estudo das ondas mecânicas é base para o entendimento de diversos fenômenos naturais como o som, ondas no mar, vibrações em corpos e muitos outros. E a compreensão delas também é importante porque permite uma introdução simples a efeitos ondulatórios em diferentes ramos da física (eletromagnetismo, óptica e física moderna). Mas, identifica-se que apesar de sua relevância, pouca atenção é dada às ondas mecânicas nos cursos introdutórios de física.

Segundo Haverroth (2018) após pesquisas nos livros didáticos verificou-se que a ondulatória é uma área pouco explorada no Ensino Médio, o que vai contra a tendência de se introduzir temas de Física Moderna nessa fase do ensino, visto que temas como Óptica Física, Mecânica Quântica e mesmo Física de Partículas, dependem do conhecimento sobre ondulatória.

E se tratando de ondas sísmicas, a nível de ensino médio, a abordagem desse tema é irrelevante, pois analisando 5 livros volumes II pertencentes ao PNLD (Plano Nacional do Livro e do Material Didático). Ser protagonista: Física II (VÁLIO *et al*, 2016), Física II (NEWTON *et al*, 2016), Física II (GUIMARÃES *et al*, 2016), Física II (BONJORNO *et al*, 2016), Física II: Interação e Tecnologia (GONÇALVES FILHO e TOSCANO, 2016). Observa-se que esse tema não é tratado com a importância devida, dificultando o conhecimento das aplicações tecnológicas que esses tipos de ondas possibilitam. E ainda, demonstra a pouca diversificação de abordagens para alguns conceitos ondulatórios e principalmente para os fenômenos da reflexão e refração de ondas mecânicas.

No livro de Válio *et al* (2016), na seção - Contextualização e Interdisciplinaridade do Capítulo 9 – Ondas, é abordado o tema abalos sísmicos com algumas questões para se discutir, enquanto que em Newton (2016), na seção - Questões Propostas, é citado o tema abalos sísmicos em duas questões, porém, de forma muito superficial, não envolvendo reflexão e refração que essas ondas sofrem ao se propagarem pelas subcamadas da Terra. Nos demais, não se apresenta de nenhuma forma a propagação e fenômenos sofridos por ondas sísmicas, inclusive o livro de Gonçalves Filho e Toscano (2016) não aborda o tema ondas mecânicas.

Ficando claro que a geofísica e principalmente a sísmica não pertence ao mundo das contextualizações dos livros didáticos.

Ainda segundo Santos e Aguiar (2012) o estudo das ondas sísmicas é de grande importância prática, visto que, o avanço na compreensão tornou possível a investigação do interior da Terra. Projetos como os sistemas de alarme de terremotos que podem salvar milhares de vidas, são poucos explorados, necessitando apenas de conceitos básicos dessas aplicações. Isso mostra exemplo de como temas interdisciplinares ligados a múltiplos aspectos da atividade humana podem ser abordados em uma discussão nas aulas de física.

Para Oliveira (2018) devido à grande quantidade de assuntos envolvidos na área de geociências, os alunos, de forma geral, enfrentam dificuldades para aprender os conceitos. Sendo necessário analisar e debater questões sobre a forma de ensinar conceitos interdisciplinares envolvidos com a física, geografia, matemática, química e biologia, como por exemplo, a geofísica, que envolve as quatro primeiras disciplinas citadas. Assim, as teorias de Ensino e Aprendizagem (E&A) tornam-se importante neste tipo de problema e, apesar de consistirem de modelos e abstrações, podem nos indicar um melhor caminho para produzir qualidade no ensino de geociências, nesse caso, a geofísica.

Apesar dos conhecimentos relacionados à geofísica serem considerados saberes sábios, uma transposição didática desses podem diversificar o ensino de diversas áreas da física relacionada às propriedades físicas da Terra como a elasticidade, a gravidade, a magnetização, radiação, temperatura e resistividade elétrica. Assim, implementar os métodos sísmicos de reflexão e refração que fazem parte de uma área aplica da física, saber sábio, sofrendo um conjunto de adaptações, permitindo transformar esse saber em um objeto de ensino, pode ser considerado uma transposição didática. Segundo Melzer (2015) corroborado por Chevallard (1991) o saber ensinar é produto de uma transformação didática. Este saber agrega novos elementos didáticos que tem como objetivo final tornar os saberes mais acessíveis aos educandos.

Desta forma, a transposição didática dos saber sábio relacionado aos métodos sísmicos, permitem implementar novas abordagens para auxiliar o conhecimento dos alunos de forma significativa sobre tecnologias que possibilitam exploração de recursos naturais tão importantes para um mundo altamente dependente de automóveis, fabricas, etc. As investigações e explorações destes recursos são possibilitadas a partir da compreensão do comportamento das

ondas sísmicas quando se propagam em diferentes subcamadas no interior da Terra, sofrendo fenômenos de reflexões e refrações que possibilitam diversas aplicações em várias áreas da ciência.

3. FENÔMENO DA REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE ONDAS MECÂNICAS

Neste capítulo abordaremos os conceitos físicos-matemáticos relacionados ao fenômeno da reflexão e da refração de ondas mecânicas sob a perspectiva do entendimento do interior da Terra.

3.1 CONCEITOS BÁSICOS DE ONDAS MECÂNICAS

Ao estudar as ondas, um importante ponto de se analisar é a propagação delas nos diferentes meios. O entendimento desses fenômenos, nos permite aplica-los em um número bem diversificado de áreas da ciência e conseqüentemente a produção de tecnologias que facilitam nossa vida de forma direta e indireta.

Na Física, dividimos as ondas em dois tipos de acordo com a sua natureza, podem ser de natureza Eletromagnética ou Mecânica. As ondas eletromagnéticas podem se propagar em qualquer meio, seja meio material ou no vácuo, por isso recebemos Luz vinda do Sol, Luz que é um exemplo de onda eletromagnética. Já as ondas mecânicas, essas podem apenas se propagar em meios materiais, ambientes que possuem matéria, fato esse que na ocorrência de uma explosão no espaço, por exemplo, o resultado é o silêncio, motivado pela ausência de moléculas que impossibilita a transmissão de ondas sonoras. O som, é um exemplo de onda mecânica.

Nussenzveig (2014, p. 125) define ondas num sentido amplo como sendo:

[...] qualquer efeito (perturbação) que se transmite de um ponto a outro de um meio. Em geral, fala-se de onda quando a transmissão do efeito entre dois pontos distantes ocorre sem que haja transporte direto de matéria de um desses pontos ao outro.

Enquanto que Young e Freedman argumentam que “Uma onda surge quando um sistema é deslocado de sua posição de equilíbrio e a perturbação se desloca ou se propaga de uma região para outra do sistema. Quando uma onda se propaga, ela carrega energia”. (YOUNG e FREEDMAN, 2011, p. 103).

As ondas, sejam qual for a sua natureza, sofrem os mesmos fenômenos, sejam eles: Reflexão, Refração, Difração, Ressonância, Interferência, Polarização e Efeito Doppler. Neste

trabalho, iremos focar apenas nas ondas mecânicas e mesmo com a existências de diversos fenômenos ondulatórios será centrado na reflexão e refração. Que são observados tanto em ondas eletromagnéticas como em ondas mecânicas e sua ocorrência seguem os mesmos princípios e leis.

Os fenômenos de reflexão e refração acontecem quando uma onda se propaga por um determinado meio material e encontra um obstáculo ou superfície que separa duas regiões de propriedades diferentes (no caso do som, por exemplo, quando este se propaga no ar e incide em uma superfície aquática pode sofrer reflexão e ou refração, o ar e água são exemplos de meios com propriedades diferentes. Nesse caso, o obstáculo que som encontraria seria a fronteira de separação em o ar e água, que chamaremos de interface de separação).

Quando ocorre o fenômeno da reflexão, a onda retorna ao meio de origem com as mesmas características mantendo velocidade e comprimento de onda inalterados e na refração a onda atravessa sofrendo desvio, consequência devido a mudança de velocidade da onda ocasionando também alteração no comprimento de onda. No estudo óptico as fases das ondas não são consideradas.

O modelo matemático que descreve os fenômenos de reflexão e refração é a Lei de Snell-Descartes,

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2, \quad (3.1)$$

onde θ_1 e θ_2 são os ângulos de incidência e reflexão respectivamente para o fenômeno da reflexão e se tratando de refração são os ângulos de incidência e refração respectivamente. O n_1 e n_2 são índices dos meios em que a onda se propagará e terá valor de acordo com as propriedades do meio, acarretando mudança na velocidade da onda para o fenômeno da refração, na reflexão n_1 e n_2 serão iguais e consequentemente não haverá mudança de velocidade.

Para a Luz, obtém-se o valor de n pela razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade desta no meio à qual está se propagando, podendo ser o ar, água, vidro entre outros. A velocidade da luz nesses meios sofrerá diminuição porque quando ela penetra neles os campos elétricos e magnéticos da luz induzem oscilações das partículas eletricamente carregadas e presas ao núcleo, que por sua vez produzem ondas eletromagnéticas secundárias e

a superposição destas com a incidente altera as características da luz que se propaga no interior, reduzindo a velocidade.

Para as ondas sísmicas que utilizaremos para estudo dos fenômenos da reflexão e refração de ondas mecânicas, a alteração de sua velocidade quando estas atravessam uma interface que separa dois meios de propriedades diferentes, depende exclusivamente de três grandezas densidade ρ , módulo de rigidez μ e módulo volumétrico (de incompressibilidade) K , que serão mais detalhadas na seção 3.3, obtendo a velocidade da onda sísmica em dois meios diferentes a partir dessas grandezas podemos “estimar o índice de refração entre os dois meios”.

A Lei de Snell-Descartes também pode ser apresentada na forma da eq. 3.2 relacionando o comprimento de onda λ_1 e λ_2 e a velocidade da onda V_1 e V_2

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (3.2)$$

mais trabalhada na refração, onde ocorre mudança de meio e conseqüentemente alteração do comprimento de onda e velocidade da onda.

3.1.1 Reflexão das ondas

Reflexão é um dos fenômenos ondulatórios comuns a todos os tipos de ondas. Quando ondas atingem um obstáculo ou uma fronteira de separação entre dois meios, retornam total ou parcialmente ao meio a qual estavam se propagando, como mostra a figura 3.1.

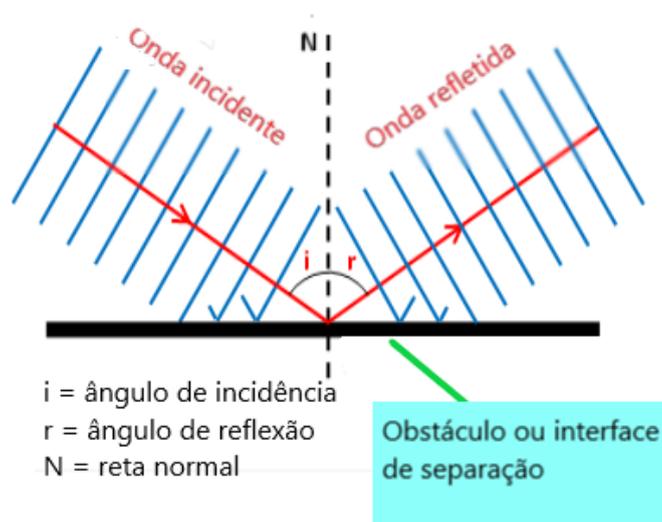


Figura 3.1: Representação do fenômeno da reflexão. Fonte: Autor

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, como está representado na figura 3.2.

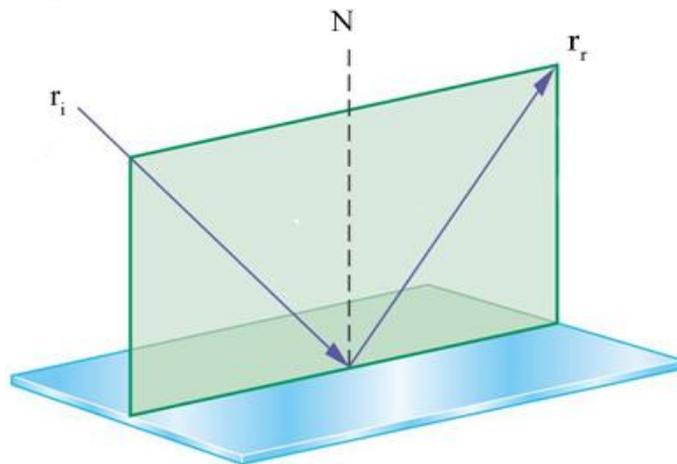


Figura 3.2: Representação da primeira lei da reflexão. r_i é o raio incidente, r_r é raio refletido e N é reta normal. **Fonte:** Retirada do site fq.pt – adaptada.

Segunda lei da reflexão

Ao retornar, após atingirem um obstáculo ou interface de separação entre dois meios, as ondas apresentam um ângulo de reflexão, \hat{r} , exatamente igual ao ângulo de incidência, \hat{i} , conforme a figura 3.3.

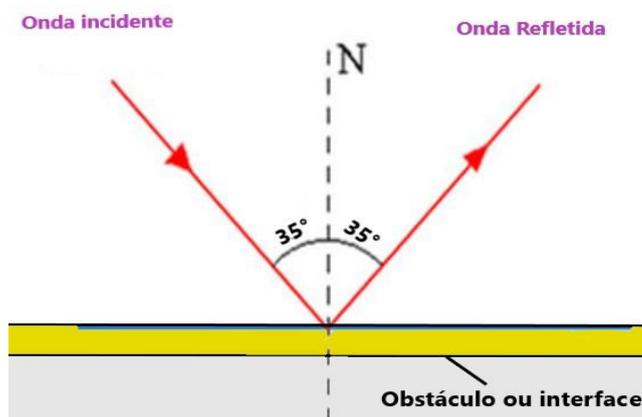


Figura 3.3: Representação da segunda lei da reflexão. **Fonte:** Autor.

A segunda lei da reflexão pode ser comprovada pela lei de Snell-Descartes equação 3.2, uma vez que $V_2 = V_1$, ou seja, a equação 3.2, fica:

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = \frac{V_1}{V_1} \quad \Rightarrow \quad \hat{i} = \hat{r} \quad (3.3)$$

3.1.2 Refração de ondas

Refração, assim como a reflexão, é um dos fenômenos ondulatórios comuns a todos os tipos de ondas. Sempre que as ondas atingem uma fronteira de separação entre dois meios, elas transpõem total ou parcialmente 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.

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, como ilustra a figura 3.4.

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.

$$\frac{\text{sen } \hat{i}}{\text{sen } \hat{r}} = k \quad (3.4)$$

Essa equação pode ser expandida para a equação (3.2), que relaciona o comprimento de onda e a velocidade, grandezas que se alteram quando ocorre refração. onde V_1 é a velocidade da onda no meio 1 e V_2 é a velocidade da onda no meio 2 e λ_1 é o comprimento de onda no meio 1 e λ_2 é o comprimento de onda no meio 2. O índice de refração n está associado ao aumento ou diminuição da velocidade de propagação da onda, devido as diferenças das estruturas morfológicas das substâncias que compõem cada meio. Isto é, para meio mais densos a velocidade de propagação é maior do que em meios mais rarefeitos. Em meios de alta heterogeneidade permite maior complexidade na definição do índice de refração.

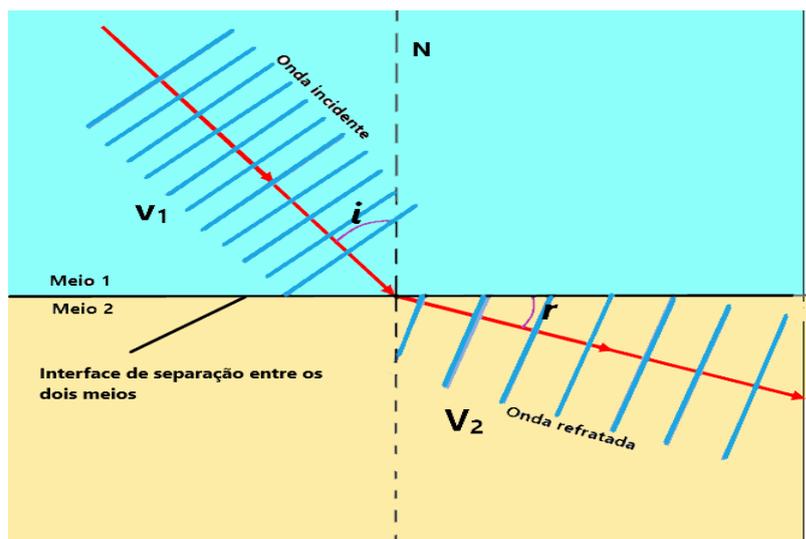


Figura 3.4: Representação da trajetória de raio refratado. **Fonte:** Próprio autor

3.2 O USO DA ONDULATÓRIA PARA CONHECIMENTO DO INTERIOR DA TERRA

Os estudos da estrutura, composição, propriedades físicas e processos dinâmicos do planeta Terra tiveram início no século XVII, principalmente, com os estudos relacionados aos campos gravitacional e magnético terrestre. Até o século XIX, tudo ainda era conhecido como Geologia. Porém, esse termo não era apropriado, pois, a base de conhecimento e os métodos que eram empregados nas investigações indiretas se diferenciavam daqueles aplicados pelos geólogos da época, e assim, acabavam referindo-se à Física da Terra, que logo acabou culminando em nova área de conhecimento, a Geofísica.

A Geofísica é uma ciência que se caracteriza pela multidisciplinaridade. Atualmente, podemos dizer que temos um nível de conhecimento bastante razoável sobre nosso planeta, graças aos métodos geofísicos de investigação, que permitem desvendar os mistérios do interior da Terra, sem que o homem possa adentrar em seu interior, pelos menos a profundidades maiores que 3 km, profundidade máxima que as minas chegam (ENESTO e USSAMI, 2002).

A crosta terrestre é a camada da Terra mais conhecida, podendo ser estudada através de perfurações. Porém, este estudo é limitado, uma vez que a profundidade de perfuração para coleta de materiais para fins de estudo se limita a cerca de 11 km de profundidade (na península de Kola, na Rússia), o que já é muito se comparado com poços de petróleo que atingem no

máximo 8 km, mas se considerarmos as dimensões da Terra, pouco representa, visto que o raio equatorial mede 6378 km (GROTZINGER, 2013).

Contudo, podemos dizer que temos um nível de conhecimento considerável deste nosso planeta, graças aos métodos geofísicos de investigação, que utilizam propriedades físicas da Terra. Como exemplo, podemos citar as propriedades elásticas das rochas que compõe o interior da Terra, estas se comportam assim, quando submetidas a forças, permitindo a passagem de vibrações em forma de ondas, que sofrem reflexões e refrações quando passam em divisões de subcamadas. E com a compreensão do comportamento das ondas sísmicas no interior Terra foi descoberto as principais camadas do nosso planeta.

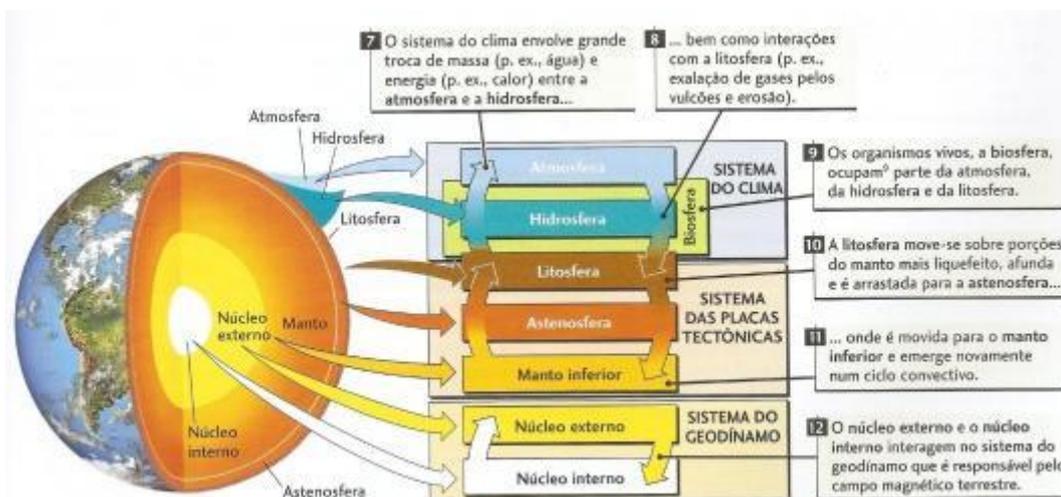


Figura 3.5: Principais componentes e subsistemas do sistema Terra. As interações entre os componentes são governadas pela energia do Sol e do interior do planeta e organizadas em três geossistemas globais: o sistema do clima, o sistema das placas tectônicas e o sistema do geodínamo. **Fonte:** PRESS, 2004.

A estrutura do interior da Terra começou a ser desvendada a partir do início do século XX quando se reconheceu ser possível estimar a variação da velocidade das ondas sísmicas como função da profundidade no interior da Terra, a figura 3.5 mostra os subsistemas do planeta. Definindo as velocidades das ondas pela densidade e pelos parâmetros elásticos do material atravessado pelas ondas, é possível estimar a variação desses parâmetros também em função da profundidade no interior da Terra. A interpretação desses resultados, permitiu estabelecer um modelo detalhado da estrutura e da composição interna da Terra. Sendo aprimorado continuamente Ribeiro e Molina (2002).

Basicamente, todo o conhecimento sobre as camadas mais internas da Terra é devido aos métodos geofísicos. Tais métodos são utilizados para entender os processos físicos que ocorrem no interior do planeta, bem como sobre os processos que movem as placas litosféricas, também conhecidas como placas tectônicas. Além disso, os métodos são amplamente utilizados para localização de recursos naturais de valor econômico, tais como o petróleo, o gás natural e os minérios.

3.2.1 Estudo e exploração do interior da Terra a partir da Geofísica.

O petróleo é um recurso natural, amplamente utilizado para geração de energia, hoje em dia, a busca por novos reservatórios de petróleo é incessante, por ser uma das principais fontes de energia utilizada no mundo moderno. O petróleo se origina da matéria orgânica que fica soterrada em camadas sedimentares, em profundidades que para serem descobertas necessitam de métodos de investigação que só a Geofísica dispõe. (ERNESTO e USSAMI, 2002).

A perfuração de um poço de exploração tem valor de alto custo, principalmente em condições de águas profundas onde estão localizados os poços brasileiros de maiores produções de barris. “Apesar de serem menos de 10% do total, os poços marítimos produzem mais de 90% da produção total de óleo e gás. Isto acontece porque os poços marítimos são bem mais produtivos que os poços terrestres” (CBIE, 2020). Portanto a aplicação de métodos geofísicos é essencial, visto que esses possibilitam a perfuração em locais cujo a existência de petróleo é o máximo provável, uma vez que essas reservas são previamente localizadas a partir dos métodos sísmicos.

A aplicação dos métodos geofísicos, seja eles para entender os processos físicos que acontecem no interior da Terra ou na busca de recursos naturais de valor econômico, é possível a partir de propriedades físicas da Terra, como a elasticidade, a gravidade, a magnetização, radiação, temperatura e resistividade elétrica. Que dão origem os seguintes métodos geofísicos: Métodos Sísmicos, Métodos Gravimétrico, Método Magnético, Método Eletromagnético, Método Radiométrico e Método Termométrico.

Como o foco deste trabalho é o ensino de reflexão e refração a partir de uma abordagem sísmica. Iremos nos aprofundar somente no método geofísico da sísmica de reflexão e refração, que exploram fenômeno que são possíveis devido a propagação de ondas mecânicas e a respostas elásticas dos materiais que compõem a Terra.

Aplicabilidade dos métodos sísmicos passa pelas distintas formações geológicas. Pois, segundo Kearey *et al* (2009) “em virtude da variedade composicional, textural (por exemplo, formas de grãos e graus de seleção), de porosidade e de fluidos nos poros, as rochas diferem quanto a seus módulos elásticos e densidades”, e, portanto, apresentam, em geral, diferentes velocidades de propagação de ondas. Onde o meio pode se comportar de forma elástica, quando a energia de uma perturbação se propaga deslocando as partículas de sua posição inicial e após a passagem da energia a partícula volta à posição inicial (deformação elástica). Mas, nas proximidades onde ocorreu a perturbação pode resultar uma deformação inelástica, onde as partículas não retornam à posição inicial.

3.3 PROPAGAÇÃO DE ONDAS NO INTERIOR DA TERRA

A propagação de ondas no interior da Terra, ondas sísmicas, seja ela de origem natural, terremotos, ilustrado na figura 3.6(a), causados principalmente pelo movimento das placas litosféricas, ou as de origem artificiais, ilustrado na figura 3.6(b), produzidas por humanos através de explosões, caminhões vibradores entre outros meios para fins de estudos sobre as rochas. São estudadas através de métodos sísmicos para fornecer informações sobre a distribuição dos limites geológicos em profundidade. As ondas sísmicas naturais podem fornecer informações de propriedades da Terra a grandes profundidades, enquanto, as artificiais, a pesar de ter o método mais complicado de se aplicar, podem fornecer informações mais detalhadas de estruturas geológicas próximo à superfície.

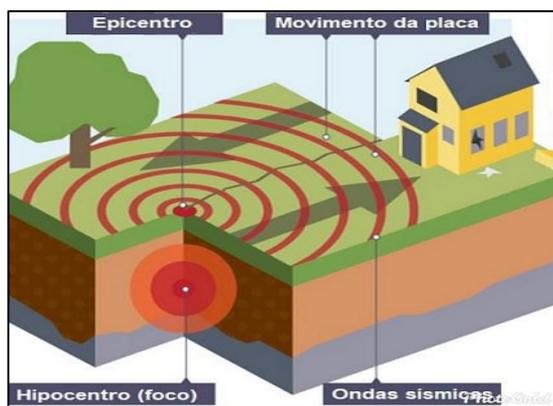


Figura 3.6a: Fonte sísmica de origem natural (terremoto). **Fonte:** Retirada do site slideshare, 2017. - adaptada

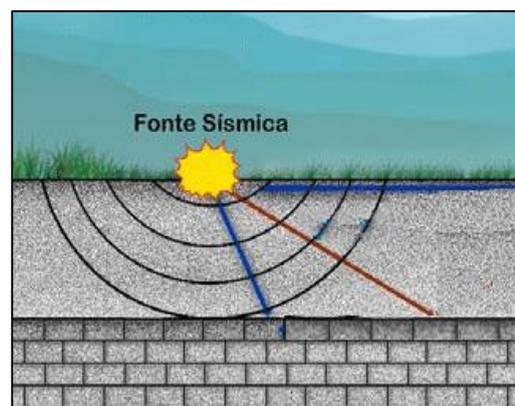


Figura 3.6b: Fonte sísmica de origem artificial (explosão). **Fonte:** Retirada do site geométodos levantamentos geofísicos LTDA. - adaptada

As ondas sísmicas, artificiais ou naturais, apresentam as mesmas características quanto a sua propagação, e podem apresentar vibração de duas maneiras: longitudinais e transversais.

As ondas longitudinais ou ondas P (Primárias) vibram paralelas ao sentido de propagação, comprimindo e dilatando o meio em que se encontram como acontece em uma mola, e assim, acontece a transferência de energia de partícula a partícula, como mostra as figuras 3.7a e 3.7b. Essas ondas apresentam a maior velocidade de propagação, podendo se propagar tanto em sólidos quanto em fluidos, no caso de um terremoto, por exemplo, são as primeiras a serem sentidas na superfície. Mas são as que causam menores danos às edificações e estruturas geológicas.

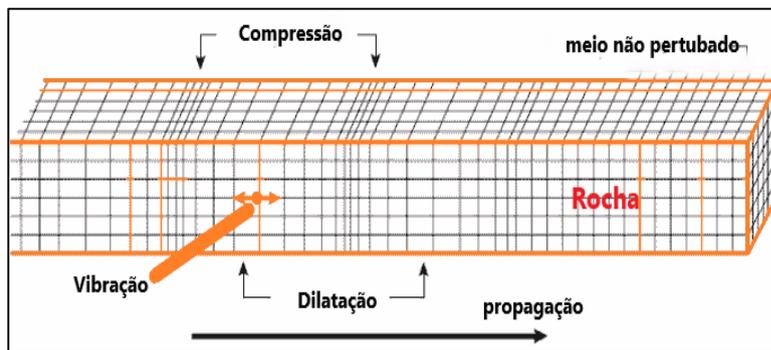


Figura 3.7a: propagação de onda longitudinal **Fonte:** Autor.

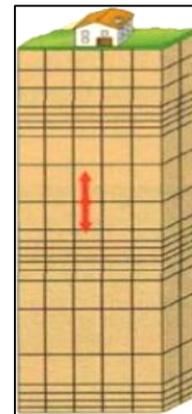


Figura 3.7b: propagação de onda longitudinal **Fonte:** Retirada do site slideshare, 2015 – adaptada.

Enquanto que as ondas transversais ou ondas S (Secundárias) vibram perpendicularmente ao sentido de propagação, fazendo um movimento de chicote. Essas ondas têm velocidade menor e chegam à superfície posteriormente às ondas P, porém, carregam bem mais energia, acarretando maiores danos às edificações e estruturas geológicas. A propagação dessas ondas ocorre apenas em meios sólidos.

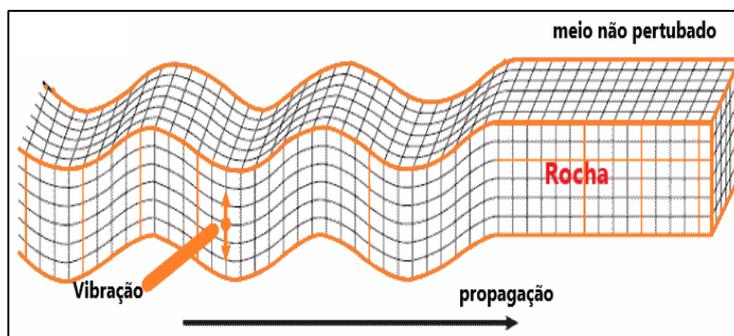


Figura 3.8a: propagação de onda transversal. **Fonte:** Autor

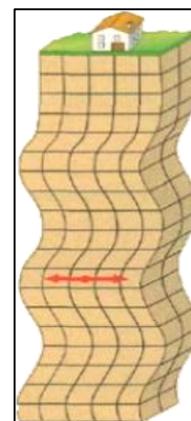


Figura 3.8b: propagação de onda transversal **Fonte:** Retirada do site slideshare, 2015 - adaptada.

As velocidades das ondas sísmicas podem ser expressas pelas constantes elásticas e a densidade do meio em que elas se propagam e tal diferença de velocidade entre os dois tipos de ondas pode se entender a partir das equações (KEAREY et al, 2009):

$$v_p = \left[\frac{K + \frac{3}{4}\mu}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3.5)$$

onde v_p é a velocidade da onda primária, K é o módulo volumétrico (de incompressibilidade) μ é o módulo de rigidez (de cisalhamento) e ρ é a densidade.

Para meios não sólidos, como o ar e água, que possuem módulo de rigidez nulo ($\mu = 0$), a velocidade de propagação de uma onda P se reduz a:

$$v_p = \left[\frac{K}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.6)$$

Na propagação de ondas transversais (ondas secundárias v_s) devido ao movimento das partículas ser perpendicular à direção de propagação de onda o meio sofre cisalhamento na vertical. Com isso, a velocidade da onda S depende do módulo de rigidez μ e da densidade do meio em que se propaga ρ .

$$v_s = \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.7)$$

Motivo esse que resulta na impossibilidade de ondas S se propagarem em meios fluidos, uma vez que esses não possuem rigidez ($\mu = 0$) implicando em $v_s = 0$.

Comparando as equações 3.5 e 3.7 permite identificar o motivo pelo qual as ondas P se propagam com velocidades maiores que as ondas S.

Existe outro tipo de vibração e propagação de ondas sísmicas, que são a combinação das ondas P e S, chamadas de ondas de superfície. A figura 3.9 mostra uma representação sismográfica dos três tipos de ondas. As ondas superficiais causam os maiores danos em um eventual abalo sísmico. Essas formas de propagação não serão abordadas neste trabalho.

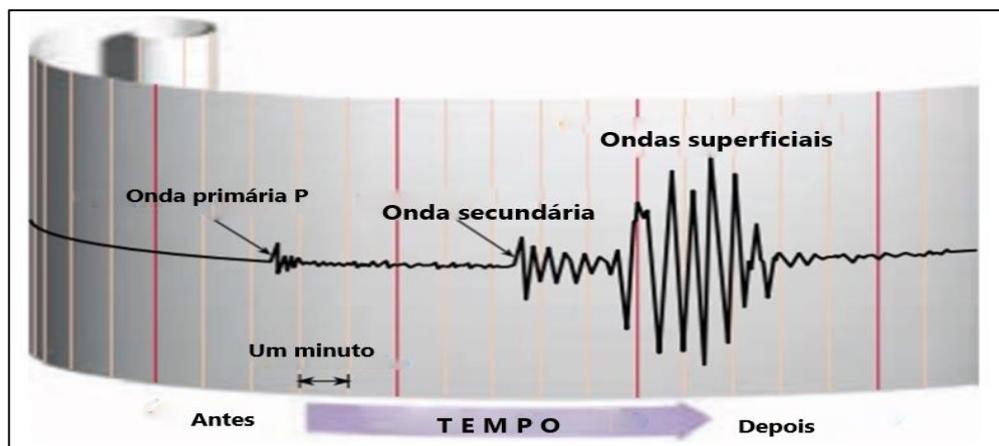


Figura 3.9: representação da ordem de chegada e quantidade de energia das ondas no retorno à superfície. **Fonte:** Retirada do site univercidad de costa rica- adaptada

3.4 PROPRIEDADE DAS ONDAS SÍSMICAS

Ondas sísmicas são pacotes de energia que vão deformando as rochas e que se propagam radialmente a partir de uma fonte sísmica, como um terremoto ou uma explosão. As fontes apropriadas para levantamentos sísmicos comumente geram trens de onda de curta duração, conhecidos como pulsos. As deformações associadas à passagem de um pulso sísmico são minúsculas, assim se admite que as rochas são elásticas. Sob essa premissa, as velocidades de propagação de pulsos sísmicos são determinadas pelos módulos elásticos e densidades dos materiais através dos quais eles se propagam conforme as equações 3.5, 3.6 e 3.7. (KEAREY et al, 2009)

Segundo Miranda *et al*, (2017) diz-se que um material tem comportamento elástico quando este recebe uma força e suas partículas são deslocadas das posições originais, mas quando esta força é removida elas voltam às posições iniciais, não resultando em deformações permanentes. Assim, quando ondas (pulsos sísmicos) propagam-se por rochas sem deformá-las permanentemente, podemos chamá-las de rochas elásticas.

Os pulsos sísmicos propagam-se radialmente a partir de uma fonte sísmica pelas rochas circundantes. Se o pulso avançar através de uma rocha homogênea, a velocidade será a mesma em todas as direções a partir da fonte, de tal forma que, em qualquer momento subsequente, a frente de onda, definida como o lugar que todos os pontos atingidos pelo pulso num dado momento, será uma esfera. Os raios sísmicos são definidos como finos feixes de energia sísmica avançando ao longo de trajetórias de raio que, num meio isotrópico, são, em qualquer ponto, perpendiculares à frente de onda, como está representado na figura 3.10. Os raios não têm

nenhum significado físico, mas representam um conceito útil no exame de trajetórias de percurso da energia sísmica através do terreno.

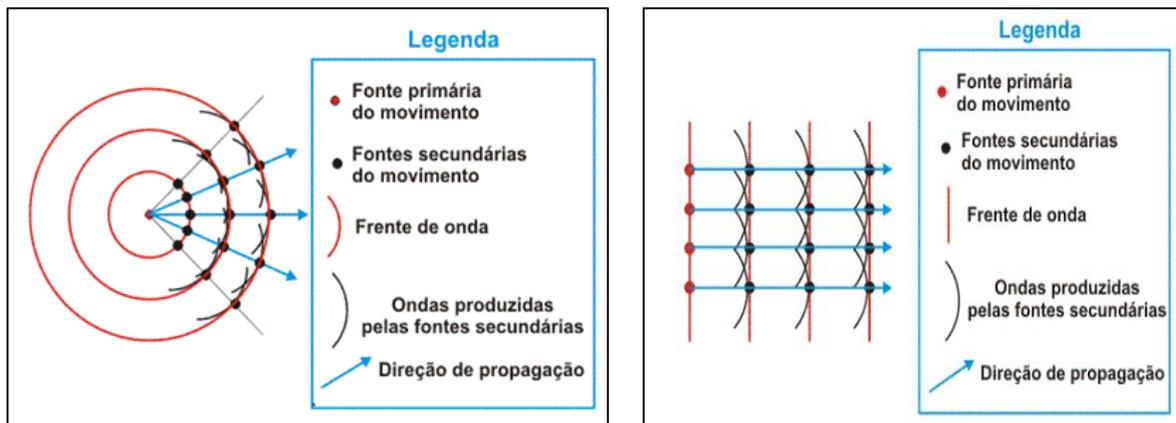


Figura 3.10: Representação do comportamento radial da frente de onda. **Fonte:** Retirado do site gestãoeducacional.

Esse conceito torna-se o principal fundamento da sismologia para o entendimento da propagação das ondas sísmicas que é conhecido como o Princípio de Huygens, também usado na óptica geométrica. A base do conceito é que “cada ponto ao longo de uma frente de onda funciona como uma fonte secundária para a produção de uma nova onda esférica”, de acordo com Lonardelli (2004). O princípio de Huygens é particularmente didático quando se deseja uma forma gráfica de demonstrar os caminhos fundamentais, nos quais a direção de propagação da onda pode mudar, ou seja, por meio da reflexão e refração.

Essa mudança acontece sempre quando uma onda atinge uma interface que separa dois meios com propriedades geológicas diferentes, onde parte de sua energia é refletida de volta e parte é transmitida, refratada, através do outro meio.

3.5 MÉTODO SÍSMICOS

Os métodos sísmicos são utilizados devido às propriedades elásticas das rochas, ou seja, capacidade de sofrerem deformações não permanentes e da ocorrência dos fenômenos ondulatórios de reflexão e ou refração que ocorrem devido as subsuperfícies apresentarem formações geológicas diferentes com densidades diferentes de acordo com a profundidade e composição química das rochas.

Deve-se observar que a velocidade de propagação de uma onda sísmica está relacionada com a taxa de transferência da energia sísmica no meio, que independe da velocidade de uma partícula do meio perturbado pela passagem da energia sísmica. Desta forma, quanto maior a

densidade do meio, maior é transferência de energia para rochas adjacentes, e consequentemente, maior a velocidade de propagação das ondas sísmicas, como acontece com o som.

Como existe muitas camadas de rochas diferentes, a propagação de uma onda ao atravessar diversas subsuperfícies com propriedades elásticas diferentes, sofre múltiplas reflexões e refrações nas divisões das formações geológicas. Uma parte de sua energia é refletida e outra parte é refratada. A parte da onda que retorna ao meio, que já se propagava, chama-se de reflexão de onda, como ilustrado na figura 3.11 com representações de raios. E quando ultrapassa chama-se refração de onda (essas ondas, na maioria das vezes também retornam ao meio de origem figura 3.8).

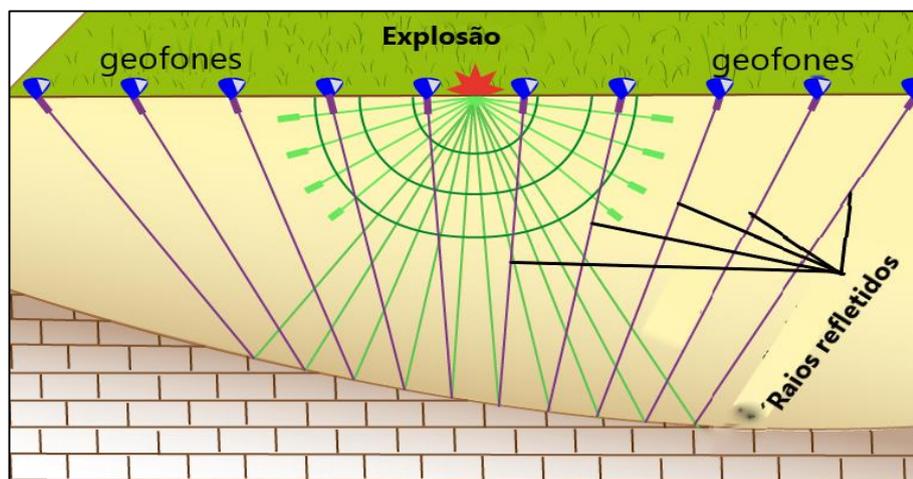


Figura 3.11: Raios de ondas refletidas. Fonte: Retirada do site Geofísica argentina - adaptada

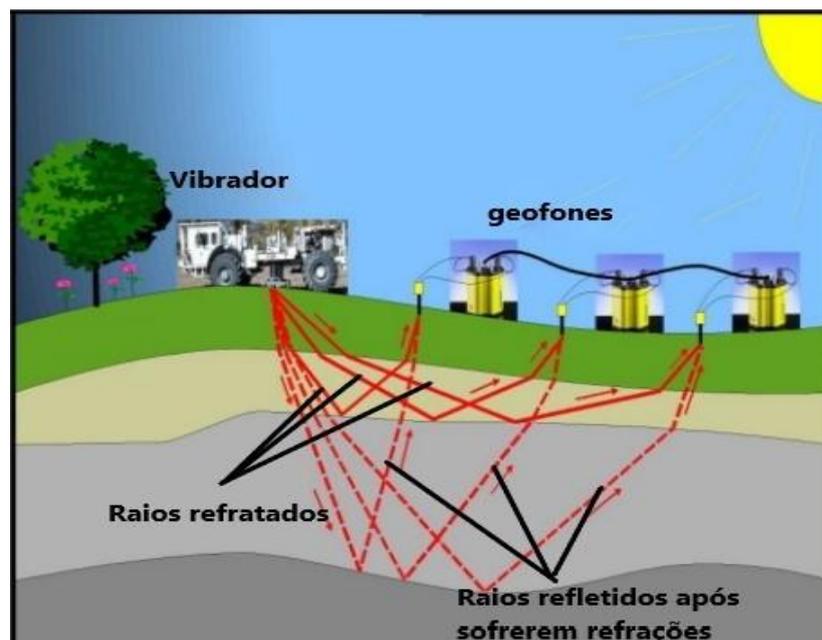


Figura 3.12: raios de ondas refratadas e refletidas. Fonte: Retirada do site slideshare - adaptada

Conhecendo-se o tempo de percurso das ondas em diferentes pontos, bem como a distância entre os pontos que captam a chegada das ondas por meio de geofones, conforme as figuras 3.11 e 3.12, pode-se deduzir as velocidades de propagação das ondas e a profundidade das interfaces que separam os meios com diferentes valores de elasticidade e conseqüentemente diferentes velocidades, acarretando o tempo de chegada na superfície ser maior ou menor. Associando-se a esses meios com diferentes tipos de rochas às diferentes velocidades, é possível conhecer-se a distribuição dos materiais das subsuperfícies. (LUIZ e SILVA, 1995)

A medida do tempo de percurso das ondas introduzidas artificialmente é feita em vários pontos e é usado duas técnicas distintas: uma que faz uso da captação das ondas refletidas, a Sísmica de Reflexão, e outra, que faz o uso da captação das ondas refratadas, a Sísmica de Refração.

Para que o conteúdo apresentado em sala de aula com a abordagem sísmica seja melhor assimilado pelos alunos, iremos considerar e utilizar ilustrações – imagens e vídeos - das subsuperfícies envolvidas como sendo homogêneas e separadas por superfícies planas e paralelas. Isso facilita a obtenção dos valores das variáveis envolvidas neste estudo: tempo, velocidade e distância.

3.6 AQUISIÇÃO E ANÁLISE DE DADOS SÍSMICOS

A Terra não permite quase nenhuma intimidade com o geofísico. Com a exceção de observações feitas em algumas perfurações com profundidades da ordem de 10km, o interior da Terra é essencialmente inatingível a qualquer tipo de observação direta. (RIBEIRO e MOLINA, 2002)

Para colher informações, os geofísicos utilizam métodos através da aplicação artificial de energia nas superfícies, aos quais estão incluídas as ondas sísmicas, como se pôde observar nas figuras 3.11 e 3.12, capazes de produzir, com alguma simplificação e aproximação, a geologia estrutural da Terra.

As ondas sísmicas artificiais são criadas por uma fonte controlada e se propagam nas subsuperfícies. A grande maioria das ondas voltarão à superfície carregando parte da energia que foram criadas, após terem sofrido refração ou reflexão nas interfaces geológicas em certa profundidade.

Instrumentos distribuídos ao longo da superfície detectam o movimento da rocha causado pelas ondas que retornam e medem os tempos de chegada a diferentes pontos afastamentos em relação à fonte. Esses tempos de percurso podem ser convertidos em valores de profundidade e, a partir daí a distribuição de interfaces geológicas pode ser sistematicamente mapeada. (KEAREY et al, 2009)

Os três itens mais importantes em um levantamento sísmicos são: a fonte sísmica, geofones ou hidrofones e um sismógrafo, como está representado na figura 3.13. A fonte sísmica cria a perturbação no solo fazendo este vibrar, transferindo a energia produzida pela fonte sísmica de partícula a partícula. Os geofones são os responsáveis pela captação da vibração produzida pela chegada das ondas refletidas ou refratadas (dependendo do tipo de levantamento sísmico) quando chegam à superfície, essa captação é feita em sinal analógico. O sismógrafo armazena as informações que serão processados por computadores.



Figura 3.13: Sistema para levantamento de dados sísmicos. **Fonte:** Retirada do site Oficina de textos, 2017 – adaptada

Os levantamentos geofísicos medem a variação de algumas grandezas físicas com respeito tanto à posição quanto ao tempo. No caso das ondas sísmicas mede-se o movimento da superfície do terreno como uma função de tempo associada à passagem das ondas (a vibração causada na transferência de energia). A apresentação dos dados é, geralmente, em forma de gráfico, mostrando a variação da grandeza medida em relação à distância ou ao tempo, como no gráfico apresentado na figura 3.14 (KEAREY et al, 2009).

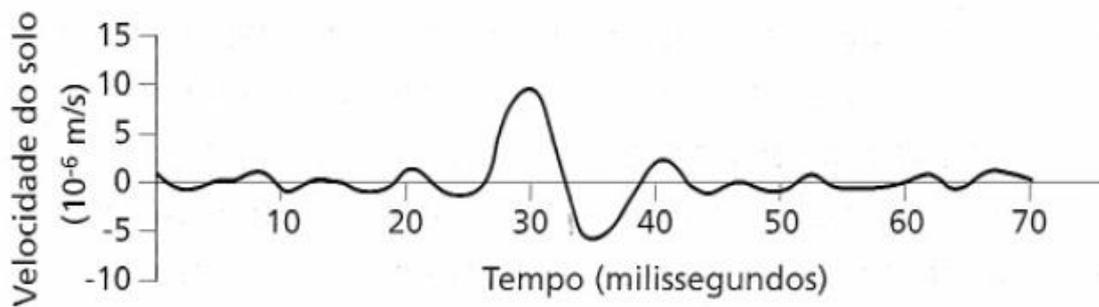


Figura 3.14: gráfico que mostra a variação do movimento vertical do solo em relação ao tempo.
Fonte: Kearey et al, 2009.

O gráfico da velocidade em função do tempo apresentará algum tipo de forma de onda mais ou menos complexa, o qual refletirá as variações físicas na geologia de subsuperfície, observando sempre as influências externas como ruídos, para descartá-las.

Os dados independentemente da forma de origem, precisam ser digitalizados para que possam ser analisados e representados por computadores. Após toda uma análise que necessita de computadores avançados, representa-se as chegadas das ondas em forma de imagens como a figura 3.15a, tornado possível a representação das subsuperfícies conforme a figura 3.15b.

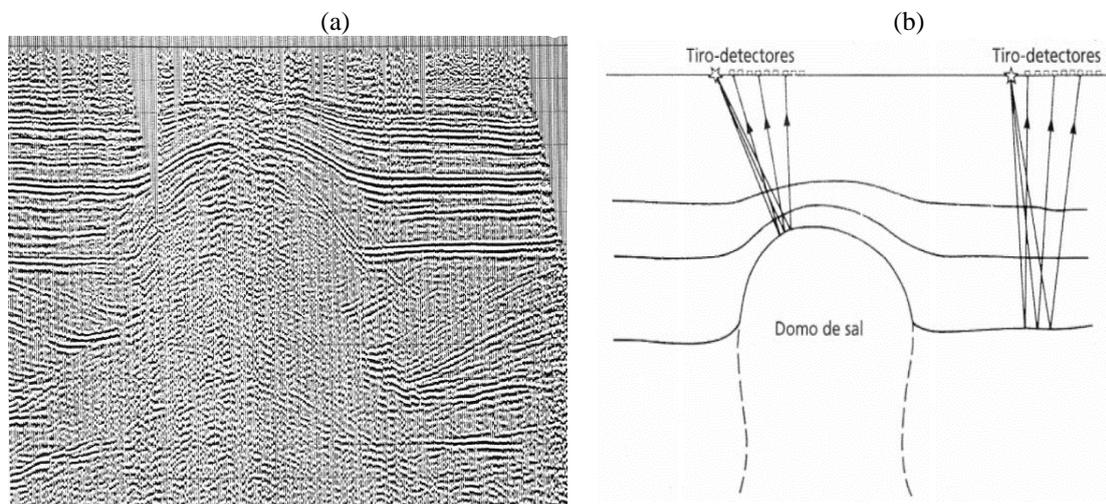


Figura 3.15: (a) Seção de reflexão sísmica através de um domo de sal em subsuperfície; (b) Interpretação estrutural simples de seção sísmica, ilustrando algumas trajetórias possíveis para raios refletidos. **Fonte:** Kearey et al, 2009.

Historicamente, a maior parte dos levantamentos sísmicos têm utilizado mais ondas compressoriais (longitudinais, ondas P), pois elas simplificam as técnicas de levantamento de dois modos. Primeiro, podem ser usados detectores sísmicos que registram somente os movimentos verticais do terreno, sendo insensíveis ao movimento horizontal das ondas S e

segundo, a velocidade mais alta das ondas P assegura que elas sempre atingirão um detector antes de qualquer onda S relacionada, facilitando seu reconhecimento. O registro de ondas S e, em menor extensão, das ondas superficiais, nos dá um maior volume de informações, mas ao custo de uma aquisição muito maior de dados (registro de três componentes) e consequente maior esforço de processamento. À medida que a tecnologia avança, levantamentos de multicomponentes vão se tornando mais e mais comuns (KEAREY et al, 2009).

3.7 MÉTODO SÍSMICO DE REFLEXÃO

3.7.1 Reflexão de ondas sísmicas

O método sísmico de reflexão tem como base a interpretação das ondas sísmicas refletidas, originadas a partir de uma fonte artificial, podendo ser: explosões, vibradores, tiros de ar comprimido quando se tratar de investigação marítima, etc. A fonte emite pulsos de ondas energéticas às superfícies que se propagam até encontrar interfaces de subsuperfícies, o que ocasiona a reflexão. A captação das ondas refletidas é feita por receptores (geofones ou hidrofones), organizados e separados por distâncias iguais, a figura 3.16 detalha o arranjo feito no mar.

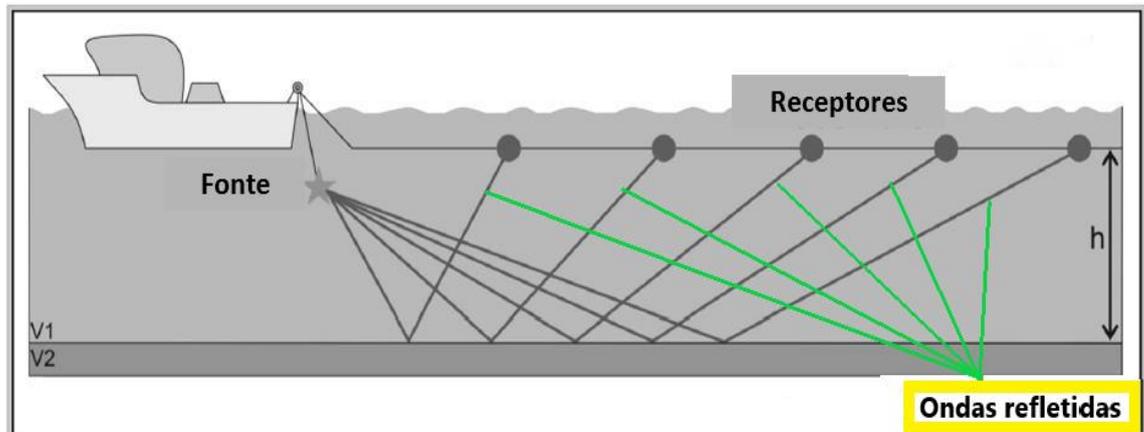


Figura 3.16: reflexão de ondas sísmicas e captação. **Fonte:** Katata, 2015 – adaptada

Este método tem sido empregado principalmente na investigação à grandes profundidades, podendo possibilitar informações de rochas a milhares de metros abaixo da superfície.

No método sísmico de reflexão a grandeza mais importante a ser medida é o tempo, o intervalo entre emissão e a captação das ondas que viajaram pelas subsuperfícies. A partir dele, pode-se determinar a velocidade de propagação utilizando equações da mecânica básica

tornando possível chegar aos valores de densidade das rochas, além de outros parâmetros também importantes na investigação sísmica.

O tempo na sísmica é conhecido como tempo duplo, pois a onda viaja pelas subsuperfícies e depois retorna à superfície, ou seja, é o tempo de ida e volta. Assim como nos problemas da física de eco.

Os pulsos de energia sísmica refletidos pelas interfaces geológicas registrados na superfície são analisados usando os conceitos da óptica geométrica, pois, as ondas sísmicas têm praticamente o mesmo comportamento teórico utilizado na óptica. Obedecendo a dois princípios: Princípio de Huyguens – cada ponto de uma frente de ondas funciona como uma nova fonte de onda; Princípio de Fermat – uma onda faz o percurso de menor tempo e não necessariamente o caminho mais curto. Além disso, esses pulsos obedecem a lei de Snell-Descartes, eq. (3.1).

A geometria plana também facilita a formulação das equações dos métodos sísmicos que será feita a partir figura 3.17, que mostra a geometria básica da trajetória de um raio refletido em superfícies planas e paralelas.

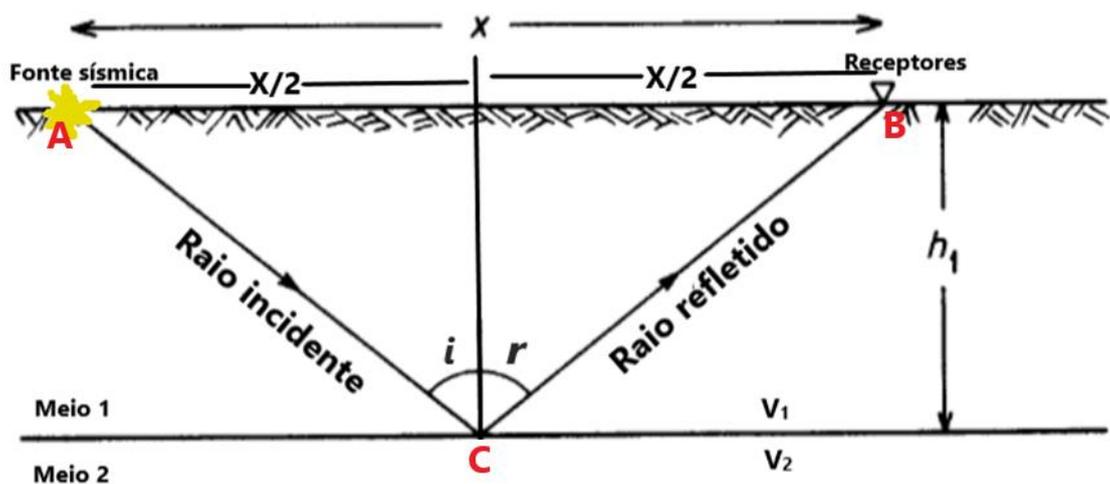


Figura 3.17: Representação da trajetória de um raio sísmico. Fonte: Próprio autor

Para casos simples, onde se considera as subsuperfícies planas e apresentando velocidade de propagação na camada inferior maior que na parte superior, isto é, $V_1 < V_2$. Pode-se demonstrar o tempo de percurso, t , de um raio refletido a partir do ponto da fonte até o receptor, a uma distância x da fonte. A determinação do tempo de percurso t é possível a partir

da equação da cinemática para velocidades constantes na horizontal, pois se trata de um único meio.

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \quad (3.8)$$

onde Δs é a distância percorrida d_{AB} pelo raio na trajetória ACB e Δt é o intervalo de tempo correspondente, t_{AB} . Assim, a equação 3.8 pode ser reescrita como:

$$t_{AB} = \frac{d_{AB}}{V}. \quad (3.9)$$

De acordo com a segunda lei da reflexão e o princípio de Fermat, pode-se dizer que a distância que o raio incidente percorre é igual a distância que o raio refletido percorre.

$$d_{AC} = d_{CB}. \quad (3.10)$$

Além disso, sabemos que o tempo incidente é igual ao tempo refletido, com isso o tempo total de percurso do pulso de onda é:

$$t_{AB} = t_{AC} + t_{CB}. \quad (3.11)$$

Como a onda não muda de meio, este considerado ser homogêneo, bem como não sofre alteração em sua velocidade horizontal, $t_{AC} = t_{CB}$, e conseqüentemente, $t_{AB} = 2t_{AC}$.

Então, aplicando o teorema de Pitágoras, para o triângulo retângulo, podemos determinar a distância d_{AC} .

$$d_{AC}^2 = h^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2 \Rightarrow d_{AC} = \sqrt{(h)^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2}, \quad (3.12)$$

onde h é a profundidade que está a subsuperfície.

O tempo de t_{AC} pode ser expresso como $t_{AC} = \frac{d_{AC}}{V}$, logo, o tempo de A para B é dado por:

$$t_{AB} = 2t_{AC} = 2 \frac{d_{AC}}{V} = 2 \frac{\sqrt{(h)^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2}}{V},$$

De modo que obtemos a equação do tempo de percurso, considerando a formação geológica com subsuperfícies planas e paralelas, isto é:

$$t_{AB}^2 = \frac{x^2}{V^2} + \frac{4h^2}{V^2} \quad (3.13)$$

A partir da equação 3.13 é possível estimar a profundidade da estrutura que gerou a reflexão. Pela maneira que ocorre as reflexões e o perfil do registro sísmico, este método se tornou a primeira opção para exploração hidrocarbonetos.

3.8 MÉTODO DA REFRAÇÃO SÍSMICA

3.8.1 Refração de ondas sísmicas

A sísmica de refração usa a energia sísmica que retorna para a superfície após viajar através do solo ao longo das trajetórias dos raios refratados. Este método tem as mesmas características do método de reflexão, porém, este avalia apenas as ondas refratadas, como mostra a figura 3.18.

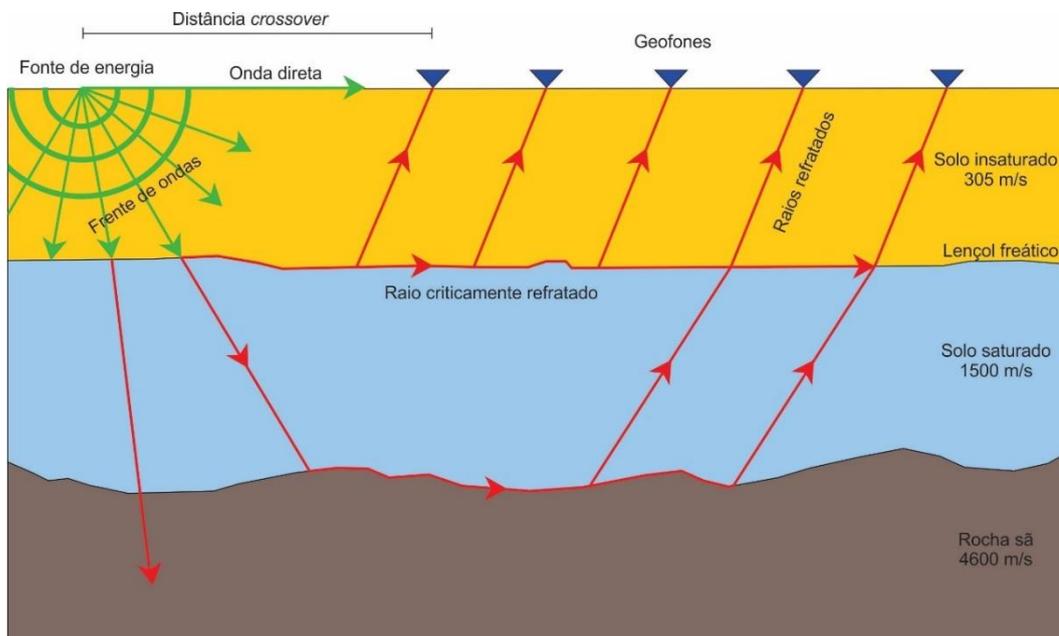


Figura 3.18: Representação da refração de ondas sísmicas.

Fonte: Retirada do site Geoenvi

Na apresentação do método sísmico da refração, será ainda mais simplificado que o método sísmico da reflexão, devido grande complexidade de suas equações, além disso, esse método utiliza muito as ondas criticamente refratadas. Assim iremos apenas utilizar as ilustrações e representando tal método iremos aplicar a Lei de Snell.

3.8.2 Ângulo crítico

A diferença da velocidade de propagação da onda sísmica causa uma mudança no ângulo que a onda mecânica se propaga. Esse ângulo é chamado crítico quando o ângulo de refração é igual ao ângulo reto. Para o método de refração sísmica, o ângulo crítico é o valor do ângulo mais importante a ser determinado. Assim, se o ângulo $\hat{r} = 90^\circ$, a onda refratada se propaga ao longo da interface de fronteira dos dois meios. Então $\sin \hat{r} = 1$ e o ângulo crítico \hat{i}_c é dado por:

$$\hat{i}_c = \sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \quad (3.14)$$

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, conforme figuras 3.19 e 3.20.

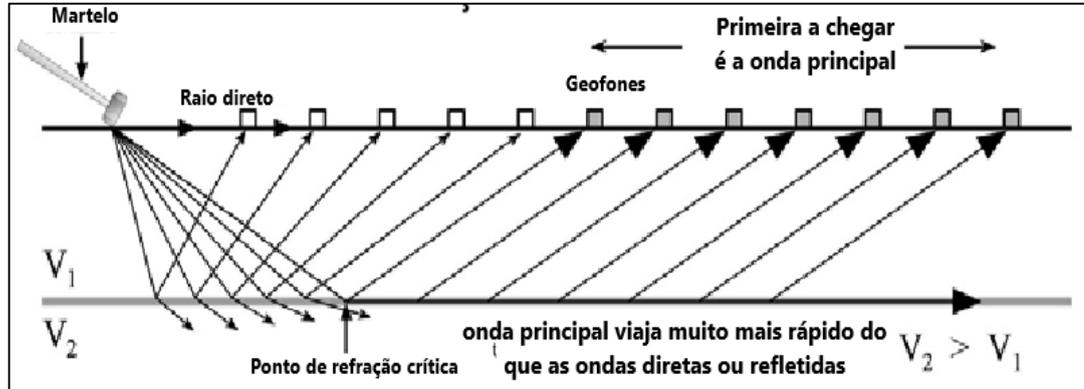


Figura 3.19: Representação dos raios de ondas criticamente refratadas. Fonte: Murray e Vest, 2004 – adaptada

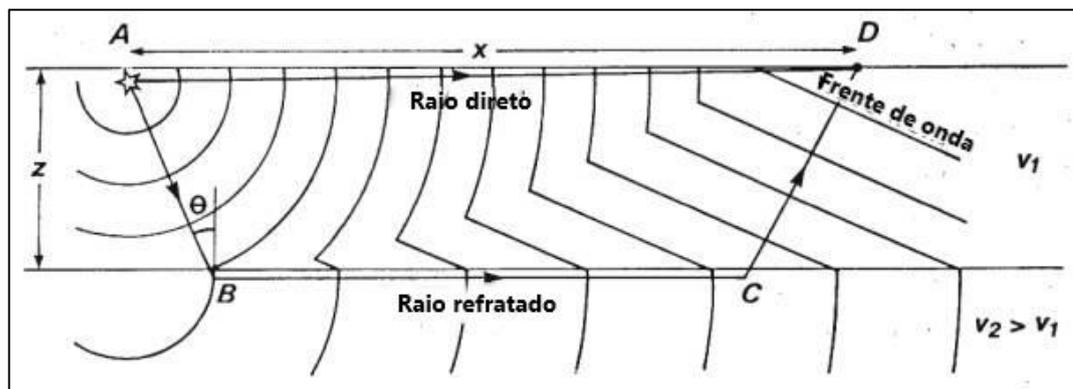


Figura 3.20: Representação das frentes de onda criticamente refratada. A fonte sísmica **D** detector.
Fonte: Kearey et al, 2009.

A partir deste fenômeno, podemos determinar a profundidade da interface, a velocidade de propagação e geometria da disposição da camada, se a camada está na horizontal ou se está inclinada, com o uso da lei de Snell para cada ponto do ângulo crítico.

No produto educacional proposto, Apêndice B desta pesquisa, traz mais ilustrações no formato de animação e vídeos, para melhor compreensão dos alunos.

4. METODOLOGIA

A metodologia é parte do trabalho fundamental para nortear a direção que se deve seguir na busca de dados, que viabilizarão a obtenção dos resultados almejados que motivaram a idealização da pesquisa.

A pesquisa tem natureza aplicada com abordagem qualitativa e de objetivos descritiva (ALMEIDA, 2016). Focaliza a contribuição do ensino e aprendizagem por uma abordagem sísmica para construção de conceitos físicos relacionados a alguns conceitos ondulatórios e ao fenômeno da reflexão e refração de ondas mecânicas, por conseguinte relacionar tais conteúdos com tecnologias existem que possibilitam descobertas e entender a estrutura e comportamentos do nosso planeta, além de utilização de recursos naturais.

4.1 POPULAÇÃO DO ESTUDO

O local em que a sequência didática foi implementada é o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre – IFAC, Campus Cruzeiro do Sul. Localizado no município de Cruzeiro do Sul – Ac.

A implementação ocorreu em duas turmas de 2º Ano, Turma A com 35 alunos do curso Técnico em Meio Ambiente Integrado ao Ensino médio e Turma B com 34 alunos do curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio.

A aplicação da sequência didática ocorreu em período de pandemia, e com isso, as aulas foram no formato síncronas, pela plataforma *Google Meet*. Previamente, foi feito um levantamento para identificação do quantitativo de alunos que poderiam acompanhar as aulas em tempo real, na Turma A, 26 alunos tinham possibilidade de acompanhar as aulas em tempo real, enquanto na Turma B, apenas 13 alunos poderiam acompanhar as aulas síncronas. Sendo esse problema o único sistema de filtro para seleção dos participantes. Os demais alunos

receberam um roteiro de estudos similar ao apresentado em aula síncrona, mas, não participaram da pesquisa. Assim, essa pesquisa envolveu um total de 39 alunos.

Para as aulas síncronas foi criado turmas na plataforma *Classroom*, em que os alunos precisavam fazer matrícula para o acesso às aulas nas suas respectivas turmas.

As aulas na Turma A, ocorreu no período matutino e na Turma B ocorreu no período vespertino, mas em datas diferentes.

4.2 PRODUÇÃO DE DADOS

O estudo teve como base a aplicação de um questionário composto de 8 questões com perguntas abertas e fechadas aplicadas em duas etapas.

- **Pré – teste:** aplicado antes da execução da sequência didática, que possibilitou identificar conhecimentos prévios (subsunçores) dos estudantes e foi respondido de forma síncrona em 30 minutos.
- **Pós – teste:** aplicado após a execução da sequência didática, na busca de resultados para uma análise diagnóstica da obtenção de conhecimentos nas aulas com apoio da sequência didática e foi respondido de forma síncrona em 30 minutos, logo ao final da aplicação da sequência didática.

4.3 QUANTO À COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

As questões dos questionários, pre-tese e pós teste, foram postadas em formulários google na plataforma *Classroom*, aos quais os alunos solicitavam autorização para acesso. Tais formulários foram vinculados a planilhas também do google em que se podiam ser baixadas em formado Excel para análise dos dados.

A análise dos dados foi feita separando as questões abertas das questões fechadas. As questões abertas foram analisadas considerando três tipos de respostas: correta, parcialmente correta e incorreta. Foi considerada correta a resposta que apresentou conhecimento satisfatório em relação ao tema abordado, parcialmente correta as respostas que incluiu termos e ou conceitos envolvidos ao tema e que possibilitou ser trabalhado e ampliado o conhecimento relacionado, e incorreta a responder que não apresentou coerência com o tema abordado. As respostas incorretas permitiram identificar o nível que se deve iniciar a sequência didática para possibilitar que todos os alunos conseguissem acompanhar as aulas.

Todas as questões foram respondidas por todos os alunos, pois todas as questões do questionário eram incluídas como obrigatórias no formulário do Google e os alunos que participaram da pesquisa só podiam enviar o questionário com todas as respostas incluídas nas questões.

4.4 PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional elaborado, apêndice B, é em formato de sequência didática com transposição didática de conceitos e pesquisas científicas no campo da sismologia e geofísica, almejando alcançar uma maior conexão entre o cotidiano dos alunos e os conceitos de Física envolvidos em geociências, em especial alguns conceitos ondulatórios e principalmente os fenômenos de Reflexão e Refração de Ondas Mecânicas, utilizados na geofísica para localização de recursos como petróleo e gás natural.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como já mencionado, o estudo foi realizado no Instituto Federal do Acre – IFAC/Campus Cruzeiro do Sul, com aulas síncronas, em duas turmas do 2º ano, uma Técnico em Meio Ambiente Integrado ao Ensino Médio e a outra Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio. A turma A possui 35 alunos e desses 26 participaram da pesquisa, a Turma B possui 34 alunos e desses 13 participaram da pesquisa conforme a tabela 1. Os demais alunos não possuíam acesso à internet e estes receberam material impresso para seus estudos, mas ficaram fora da pesquisa.

Tabela 1. Distribuição de participantes por turma

Turmas	Quantidade de alunos	Participantes da pesquisa
A	35	26
B	34	13

Próprio autor

Na seção 5.1 são apresentadas as análises dos dados do questionário pré-teste das duas turmas, na seção 5.2 são demonstrados os resultados das análises do questionário pós-teste aplicado após a sequência didática, e na 5.3 são comparados os resultados obtidos entre pré-teste e pós-teste.

5.1 ANÁLISE DA PRIMEIRA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO (PRÉ-TESTE)

O Questionário (pré-teste), foi aplicado antes do retorno da disciplina de Física II para que houvesse tempo hábil para possíveis ajustes do conteúdo na sequência didática. Com a aplicação inicial, buscava-se mapear os conhecimentos prévios (subsunçores) acerca dos temas: ondas sísmicas (terremotos) presentes no dia a dia dos alunos, uma vez que a região está localizada em zona de sismicidade alta; como é possível mapear o interior da Terra; além de alguns conceitos gerais da ondulatória e dos fenômenos da reflexão e refração utilizados na geofísica. Para que a partir deles, pudessem ser feitas adaptações na sequência didática.

Como o questionário é composto por questões abertas e fechadas, elas serão analisadas separadas. Na tabela 2 é apresentada as questões abertas composto pelas questões 1, 2, 7 e 8, na tabela 3 é apresentado uma resposta que se encaixa com correta, parcialmente correta e incorreta para cada uma das questões. E no gráfico 2 é apresentado os resultados das questões abertas pré-teste.

Tabela 2. Questões abertas

Questões Abertas
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 (exemplo, Peru), normalmente esses terremotos ocorrem 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 dessa 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?
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.
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?

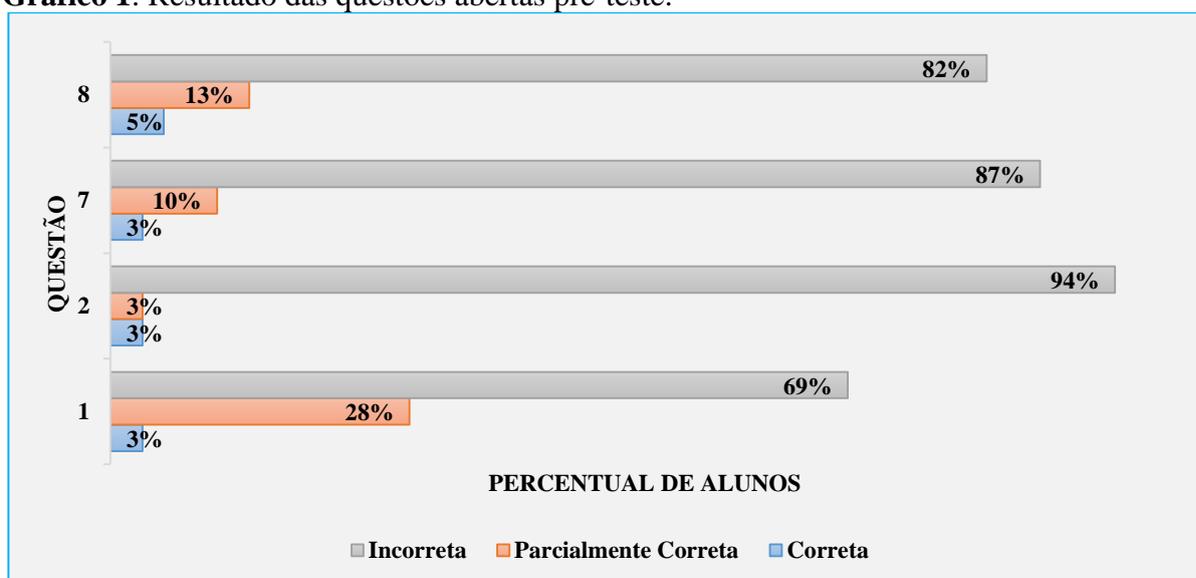
Próprio autor

Tabela 3: respostas dos alunos nas questões abertas avaliadas pré-teste como:

Questão	Correta	Parcialmente correta	Incorreta
1	Através da vibração das partículas. As partículas ao se movimentarem passam a energia que receberam à partícula mais próxima e assim sucessivamente, possibilitando o transporte de energia há dezenas, centenas ou milhares de quilômetros dependendo da energia inicial liberada pela fonte sísmica.	Através das ondas mecânicas	Através das crostas, é um fenômeno natural que ocorre quando as crostas se chocam.
2	Foi possível descobrir quantas camadas a terra possui devido os terremotos, sua energia é captada por equipamentos o que facilita no estudo do interior da terra e na descoberta de suas camadas.	A partir das ondas	através de pesquisas e matérias especializados.
7	Por ondas sísmicas que são enviadas às camadas da Terra e captadas quando retornas à superfície.	Há vários aparelhos que detectam onde ficam esses recursos naturais, em que são bastante caros e também perfuram profundamente o solo para achar esses minérios, gases, petróleo ou água.	É encontrado através de perfurações
8	Acho que é algo como a ecolocalização, as ondas são jogadas em direção a terra e retornam de volta. Os aparelhos analisam o que pode haver no caminho através dessas ondas.	Esses métodos funcionam a partir das ondas mecânicas	Funciona como a formação de modelos de dados.

Próprio autor

Gráfico 1: Resultado das questões abertas pré-teste.



Próprio autor

Nas questões abertas há maior enfoque envolvendo a sísmica, buscava-se subsunçores relativos ao conhecimento dos alunos a respeito do deslocamento da energia de um abalo sísmico, determinação das três principais camadas internas da Terra, localização de hidrocarbonetos e sobre algum conhecimento relacionado aos métodos sísmicos. Esperava-se um nível de acerto baixo, visto que de forma geral a sísmica não é abordada nos livros didáticos. O que se confirmou, pois, o percentual de respostas satisfatórias consideradas corretas variou de 3% à 5%, em número representaria de 1 à 2 alunos. Enquanto que o percentual de respostas incorretas variou de 69% a 94%.

Na análise das respostas parcialmente corretas, as que os alunos conseguiram descrever algum conhecimento físico relacionado ao tema, observa-se um percentual maior, variando de 3% à 28%, vale destacar positivamente a questão 1 em que os discentes conseguiram relacionar terremotos à ondas, principalmente à ondas mecânicas, apresentando subsunçores importantes para ancoragem de novos conhecimentos e principalmente porque serve de base para desenvolver os conhecimento necessários para as outras questões, é possível que se tenha chegado a esse resultado porque os terremotos fazem parte do cotidiano dos alunos, esse fenômeno acontece com muita frequência na região onde se foi aplicado a sequência didática. O ponto negativo vem da questão 2 que somadas as respostas corretas e parcialmente corretas apenas 6% dos alunos veem relação da determinação das três principais camadas da Terra com a sísmica dos terremotos.

Por outro lado, isso nos mostra a importância de desenvolver aulas de física (nesse caso ondulatória) envolvendo as geociências (nesse caso geofísica/sísmica), pois informações muito conhecidas como camadas internas da Terra (Crosta, Manto e Núcleo), passam por desconfianças, abrindo espaços para as pseudociências, uma vez que não são trabalhadas com os alunos como se chega a essa determinação quando se ensina os conteúdos da ondulatória. O mesmo vale para o petróleo, que é o combustível fóssil mais importante no mundo globalizado e os estudantes, a partir das respostas, acham que este é encontrado na natureza apenas por perfurações aleatórias e sem muito método. Ficando evidente ser uma potencial metodologia de ensino dos fenômenos da reflexão e refração de ondas mecânicas a implementação dos métodos sísmicos para o ensino de tais fenômenos.

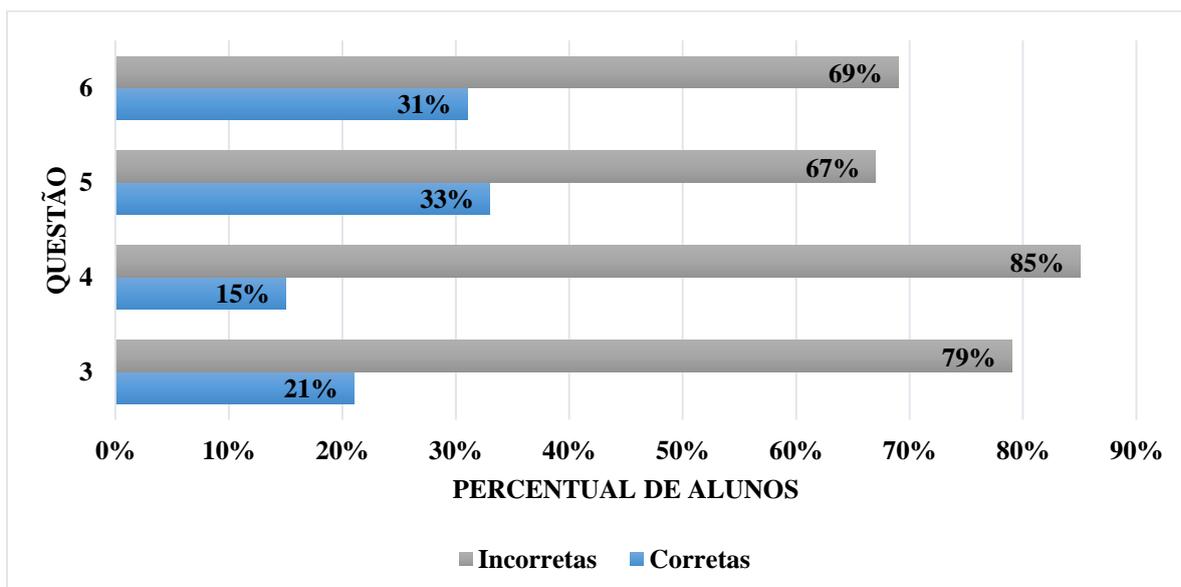
Na tabela 4 é apresentado as questões fechadas e no gráfico 2 a distribuição dos resultados.

Tabela 4. Distribuições das questões fechadas

Questões Fechadas	
3 - Analise as alternativas e marque as opções que você acredita ter relação ou ser ondas mecânicas. () 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 você acredita estarem corretas. () 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.	

Próprio autor

Gráfico 2: Resultado das questões fechadas pre-teste.



Próprio autor

Nas questões fechadas o enfoque maior ficou para análise de conhecimentos prévios de conceitos ondulatórios gerais e também de conceitos gerais dos fenômenos da reflexão e refração mais comumente apresentados em todos os livros didáticos. Mas especificamente identificar tipos de ondas mecânica, comportamentos das ondas e diferenciar os fenômenos da reflexão e refração.

Na análise das questões fechadas observa-se um nível de acertos maior, que variou de 15% à 33% em comparação com as questões abertas, vale destacar que as questões abertas e fechadas abordam temas e níveis diferentes, as abertas centra-se na sísmica, algo que podemos dizer ser novo para os alunos e as fechadas abordas temas e níveis mais trabalhados nos livros didáticos. Podemos também levar em consideração que os alunos para entrar na instituição são selecionados a partir de editais em que a classificação final deles é de acordo com o rendimento escolar nos anos finais do ensino fundamental. E deve se considerar que o nível de conhecimento prévio é alto, uma vez que tal conteúdo é a primeira vez que está sendo ensinado em sala de aula.

Nas questões 3 e 4 cujo o percentual de acerto é 21% e 15% respectivamente, pode se ainda frisar que as respostas corretas delas, são compostas de várias alternativas e que só foi considerada correta quando o discente incluía todas as alternativas em sua resposta final, com isso, pode dizer que o nível de conhecimento prévio é ainda maior do que foi registrado. E ainda as questões 5 e 6 exigem conhecimentos já um pouco avançado, visto que os conceitos nas respostas corretas são praticamente descrição das leis de reflexão e refração, e mesmo assim, houve um percentual de acerto de 31% e 33% considerado alto.

Nessa análise, pode se considerar que estudantes envolvidos na pesquisa possuem subsunçores suficientes para a implementação da sequência didática tema deste trabalho.

5.2 ANÁLISE DA REAPLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO (PÓS-TESTE)

O questionário (pós-teste) composto pelas mesmas questões aplicadas no pré-teste, foi aplicado aos estudantes que responderam o teste inicial após o encerramento da aplicação da sequência didática. Agora o objetivo da aplicação do questionário é diagnosticar se houve alguma evolução quanto ao nível de conhecimentos encontrados quando aplicado o questionário antes do início das aulas que se iria trabalhar. Entende-se que um possível aumento do conhecimento, mudança da estrutura cognitiva dos alunos em relação aos conceitos trabalhados a partir da sequência didática, seja considerado uma aprendizagem significativa.

Uma vez, que a elaboração da sequência didática envolve a inclusão de abalos sísmicos, que ocorrem frequentemente na região onde reside os estudante, permitindo caracterizar o material como potencialmente significativo, pois, o mesmo tem característica não-arbitrárias envolvendo algo relacionável ao seu cotidiano, já existindo pelos menos a curiosidade dos alunos quanto à ocorrência desses abalos sísmicos e sendo também relevante a eles aprender algo relacionado à terremotos, permitindo a predisposição do aluno relacionar o novo material a sua estrutura cognitiva, tornando-se receptivo a aprendizagem.

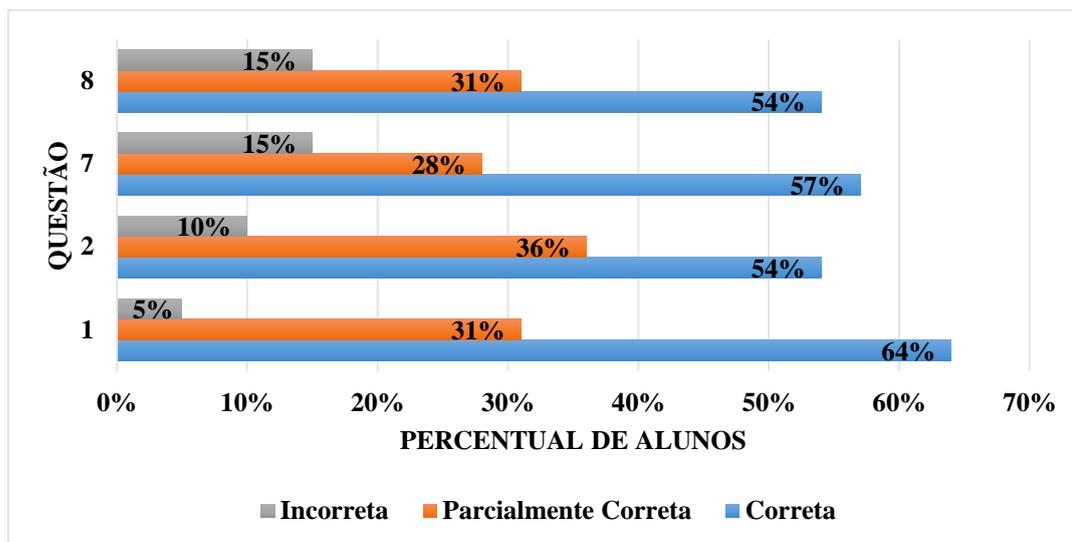
Na tabela 5 é apresentado uma resposta que se encaixa com correta, parcialmente correta e incorreta para cada uma das questões abertas. E no gráfico 3 é apresentado os resultados das questões abertas pós teste.

Tabela 5: respostas dos alunos nas questões abertas pós teste avaliadas como:

Questão	Correta	Parcialmente Correta	Incorreta
1	É através da ocorrência de uma fratura em uma certa profundidade que as ondas elásticas se propagam pela Terra inteira com o movimento das partículas que compõe o meio, chegando em alguns lugares com mais intensidade e em outras com menos.	Através de ondas que transportam energia de uma molécula a outra.	Por meio das ondas de refração, que fazem o terremoto ser sentido em forma de tremores de terra em outros lugares fora do meio de origem
2	As informações sobre as camadas da Terra foram obtidas a partir de estudos de propagações sísmicas, que ocorrem nas camadas inferiores e são captadas na superfície da Terra, por um aparelho chamado de sismógrafo, o mesmo que mede a intensidade dos terremotos	Pelo constante estudo e análise dos abalos sísmicos e por fim as ondas sísmicas que se deslocam pela matéria carregando energia	A investigação direta do manto e núcleo da Terra não é possível, uma vez que não temos acesso a estas regiões do planeta.
7	O processo que permite a localização desses recursos, está baseado na sísmica da reflexão e refração, onde são geradas ondas artificiais que se propagam nas subcamadas da Terra e quando experimentam interfaces que separam meios com propriedades diferentes podem justamente sofrer reflexão ou refração	Através de estudos relacionados a sismologia, podendo identificar áreas líquidas e sólidas do solo	O processo de descobrimento da água é escavando até chegar no lençol freático. E o petróleo e o gás eu não sei ao certo, mas como estão no subsolo acredito que seja o mesmo processo só que a intenção não é chegar no lençol freático.
8	Funciona através da geração de ondas sísmicas, essas passam a se propagar no interior da terra e serão refletidas e ou refratas quando encontrarem uma interface que separa dois meios de propriedades diferentes.	A onda sísmica se propaga pelo meio, parte da sua energia volta à superfície e é captada, já a outra parte, segue em frente e volta a superfície por outro caminho.	É a utilização da ondulatória, como forma de compreensão para fatores internos da terra.

Próprio autor

Gráfico 3: Resultado das questões abertas pós-teste.



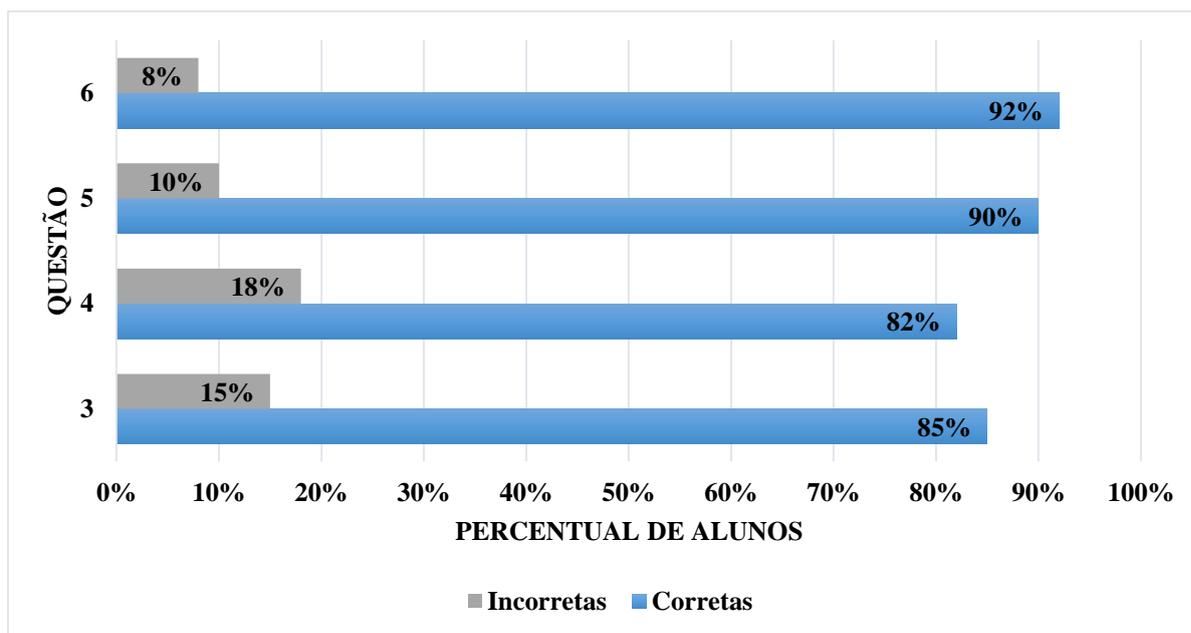
Próprio autor

Os critérios para análise das questões abertas foram os mesmos adotados na análise do pré-teste. Nas questões abertas o percentual de respostas corretas variou de 54% à 64%.

Na questão 1, observa-se o maior índice de acerto chegando a 64% das respostas satisfatórias consideradas corretas e 31% das respostas apresentaram um bom nível de conhecimento ficando parcialmente correta, podemos conjecturar que esse fato ocorreu por justamente os alunos já apresentarem algum subsunçor relacionado ao tema como ficou evidenciado no pré-teste. A questão 1, foi das questões abertas que apresentou maior aproveitamento de resposta somando corretas e parcialmente corretas, mostrando que quando os alunos possuem subsunçores tornar-se mais eficiente o ensino, por isso a necessidade de verificar esses conhecimentos previamente.

Nas questões 2, 7 e 8, os percentuais de respostas corretas ficaram muito próximos variando de 54% à 57%, nas três questões os alunos apresentaram aproveitamento abaixo da questão 1, nessas questões como já comentado antes, versam sobre temas dificilmente comentados em situações de aulas ou até mesmo fora da escola, mas que não deixa de ser importantes uma vez que envolvem temas como a localização do petróleo fonte de energia mais importante da atualidade. São questões que possuem um grau de dificuldade maior por serem possivelmente o primeiro contato com tais informações. E além disso, os alunos apresentaram conhecimentos prévios mais baixos se comparados com as outras questões. Mas, ainda assim, podemos considerar que houve uma considerável mudança na estrutura cognitiva dos alunos.

Gráfico 4: Resultado das questões fechadas pós-teste.



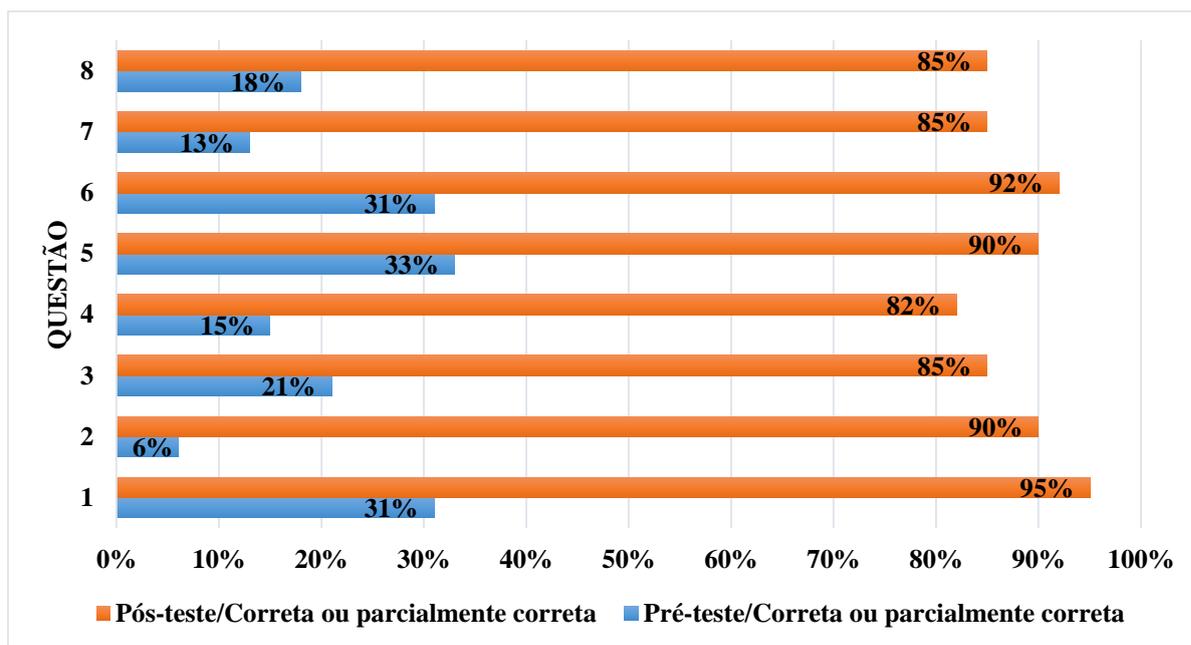
Próprio autor

Nas questões fechadas, onde buscava-se conhecimentos mais comumente trabalhado e apresentados nos livros didáticos, pode-se observar um percentual de acerto mais alto em relação as questões abertas, variando de 82% à 92%, situação que também se observou no pré-teste, indicando mais uma vez que quando os discentes já possuem algum tipo de subsunçor o desenvolvimento da estrutura cgnita do aluno é mais facilitado, mas devemos observar que a estratégia de ensino dever ser um dos fatores a se considerar.

Analisando as questões 3 e 4 que apresentaram um aproveitamento menor, devemos pontuar que as respostas corretas são compostas por várias opções juntas e são foi creditada como correta quando o estudante marcou todas opções corretas juntas.

5.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS POSITIVOS ENTRE PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE.

Gráfico 5: Comparativo entre os resultados positivos no pré-teste e pós-teste.



Próprio autor

Na montagem do gráfico 5, foram consideradas as respostas parcialmente corretas também como mudança na estrutura cognitiva dos alunos, pois na análise dos resultados dos questionários devemos considerar as ideias sem se prender muita às palavras e conceitos rigorosamente corretos apresentados nas respostas, mas sim, qualquer mudança positiva que evidencie apreensão dos conceitos abordados durante a aplicação da sequência didática.

Com isso, o comparativo entre os resultados positivos da primeira e segunda aplicação nos mostram resultados de desenvolvimento cognitivo satisfatório com relação ao aproveitamento dos alunos, indicativo, esse, de conhecimento adquirido após execução da sequência didática.

6. CONCLUSÃO

Analisando alguns livros didáticos, observou-se a deficiência na utilização da sismica e sismologia para introdução ao ensino às ondas mecânicas no ensino médio, ressalta-se que a sismologia e sismica é totalmente pautada em conceitos ondulatórios e nos fenômenos da reflexão e refração de ondas tão importantes nos estudos nas áreas da óptica, eletromagnetismo e física moderna.

Dada a importância, resolvemos construir este trabalho que fornece um produto educacional em formato de sequência didática elaborada a partir da sismologia e sismica, transpondo didaticamente para o ensino de alguns conceitos ondulatórios e introduzir os

fenômenos da reflexão e refração de ondas de forma significativa, pautada na teoria da aprendizagem significava de David Ausubel, onde a sequência didática é desenvolvida partindo dos terremotos que frequentemente ocorrem na região que se localiza a escola que foi aplicado o estudo. Buscando aproximar os conteúdos trabalhos no ensino médio com o cotidiano dos alunos, e assim, oportunizar a aprendizagem significativa.

Antes da aplicação da sequência didática foi feito o levantamento dos conhecimentos prévios a partir do questionário pré-teste na perspectiva de verificar os conhecimentos dos discentes e se necessitava adaptação da sequência didática, o que verificamos não necessário.

Na aplicação da sequência didática percebemos alguns destaques positivos: como a boa receptividade dos alunos com o início do conteúdo, observa-se isso devido a inclusão dos termos para introduzir os conceitos ondulatórios; e a grande motivação, consequência da receptividade, tornando o material potencialmente significativo. Sendo visível o interesse dos estudantes no decorrer das aulas pelas participações dos mesmos quando se chegava nos questionamentos presentes na sequência didática.

Dessa maneira, acreditamos que os objetivos da sequência didática e consequentemente da dissertação foram completamente alcançados. Oportunizando aos indivíduos através de uma transposição didática o conhecimento de mais áreas que se emprega a física como base para o conhecimento, algo que deveria ser contínuo relacionando o ensino com as mais variadas áreas tecnológicas e envolvendo o cotidiano dos alunos.

Ainda, acreditamos que a partir da sequência didática tenha se contribuído para a compreensão dos conteúdos e aplicações da ondulatória, como a determinação das camadas do interior da Terra e localização de hidrocarbonetos, possíveis exatamente com o entendimento e aplicação da ondulatória.

Por fim, a metodologia permite ao professor ensinar tais conceitos e conteúdos abordando temas diferentes dos trabalhos nos livros didáticos, algo possivelmente inovador. Com isso, torna-se uma nova abordagem para introdução às ondas mecânicas muitas vezes deixada de lado no ensino de física.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADMIRAL, T. D.; LEITE, S. Q. M. **Proposta de sequência didática de física para debater o conceito de cinemática. Alfabetização científica a partir os temas trânsito e saúde.** Disponível em: < <http://www.sinect.com.br/anais2012/html/artigos/ensino%20cie/40.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2021.

ALMEIDA, B.M. Noções básicas sobre metodologia de pesquisa científica. 2016. Disponível em: <<http://mba.eci.ufmg.br/downloads/metodologia.pdf>>. Acesso em 20 out. 2020

ARTUSO, A. R. O uso da hipermídia no ensino de física: possibilidades de uma aprendizagem significativa. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

ASSUMPCÃO, Marcelo de Sousa et al. Terremotos no Brasil: Preparando-se para eventos raros. Boletim SBGf, n. 96, p. 25-29, 2016.

BARDIN, L. Análise de conteúdo. Trad. de Luís Antero Reto, Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2011.

BONJORNO, J. R. *et al.* **Física:** termologia, óptica, ondulatória, 2º ano. 3 ed. São Paulo: FTD, 2016

CHEVALLARD, Y. (1991) La Transposition Didactique: Du Savoir Savant au Savoir Ensigné. Grenoble, La pensée Sauvage.

DA SILVA, M. O. A.; PORTELA, C. D. P. O uso da abordagem ciência, tecnologia e sociedade em aulas de física no ensino médio. Revista Científica Interdisciplinar INTERLOGOS, v. 3, n. 1, p. 05-14, 2018.

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.

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.

ERROBIDART, N. C. G.; GOBARA, S. T. **Aspectos da Transposição Didática de Ondas Sonoras em Livros Didáticos de Física (PNLEM).** Disponível em: < http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/viii/enpec/resumos/R1330-1.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2021.

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

FRANÇA, F. **Geologia terremoto.** 27 mar. 2015. Apresentação de Power Point. Disponível em: < <https://pt.slideshare.net/fellipeef/geologia-terremoto-final>>. Acesso em: 11 de jan. 2020.

FRAZZON, L. M. **Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel**. Disponível em: < <https://bell.unochapeco.edu.br/revistas/index.php/pedagogica/article/view/3499/1991>>. Acesso em: 22 maio 2020.

GEOENVI. [Site Institucional]. Disponível em: <<https://geoenvi.com.br/servicos/geofisica/sismica/>>. Acesso em: 18 jan. 2020.

GEOFÍSICAARGENTINA. [Site institucional]. Disponível em: <<https://geofisicaargentina.com/sismica-de-refraccion.html>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

GEOMETODOS. Sísmico. Disponível em: <<https://geometodos.com.br/sismico/>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

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

GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. **Física: interação e tecnologia**. 2 ed. São Paulo: Leya, 2016. V. 2.

GROTZINGER, J; JORDAN, T. Para Entender a Terra. 6ª Edição. Bookman Editora. Porto Alegre. 2013.

GUIMARÃES, O. *et al.* **Física II**. 2 ed. São Paulo: Ática, 2016. V. 2.

HAVERROTH, L. **Atividades experimentais com ondas mecânicas**. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/210635>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

KATATA, E. P. **Avaliação do impacto das condições de operação na qualidade do sinal - processamento de dados de reflexão sísmica de multicanal**. 2015. 123 f. Dissertação (Mestre em engenharia geológica) – Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro. 2015. Disponível em: < file:///D:/Downloads/Tese%20-%20Enoque%20Paulo%20Katata%20(2).pdf >. Acesso em: 20 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/geologia-9>>. Acesso em: 20 jan. 2020.

LONARDELLI, J. N. **Ensaio sísmico de reflexão rasa em rochas fraturadas do grupo itararé bacia do paraná**. 2004. 88 f. Dissertação (Mestrado na área de concentração em Geologia Explortria) - Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, São Paulo, 2004. Disponível em: <<https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/4107/Disserta%C3%A7%C3%A3oJoseilda.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

LOPES, A. E., NUNES, L. Intensidades sísmicas de terremotos: formulação de cenário sísmico no Brasil. Revista USP, n. 91, p. 90-103. 2011.

LUIZ, J. G.; SILVA, L. M. C. **Geofísica de prospeção**. Belém: Universidade Federal do Paraná; Cejup, 1995.

MAZARO, S. B.; DARROZ, L. M.; ROSA, C. T. W. **Sequência Didática de Termodinâmica: Um Material Potencialmente Significativo**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/342294914_Sequencia_didatica_de_Termodinamica_um_material_potencialmente_significativo>. Acesso em: 16 jan. 2021.

MELZER, E. E. M. **A teorias de chevallard e fleck: relações entre a transposição didática e o tráfego de pensamentos**. UFPR, 2015. Disponível em: <https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/16730_11057.pdf>. Acesso em 16 mar. 2021.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas e unidades de ensino potencialmente significativas**. Instituto de Física da UFRGS, 2013. Disponível em: <http://www.profjudes.unir.br/uploads/444444444/arquivos/TAS_1518397339.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2019.

MOREIRA, M. A. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências: comportamentalismo, construtivismo e humanismo**. 2 ed. Porto Alegre. 2016. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

MOREIRA, M. A. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências: a teoria da aprendizagem significativa**. 2 ed. Porto Alegre. 2016. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

MOREIRA, M. A.; CABALLERO, M.C.; RODRÍGUEZ, M.L. **Aprendizagem significativa: um conceito subjacente**. Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. 1997. Burgos, España. pp. 19-442. Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

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.

NEWTON, V. B. *et al.* **Física: termologia, ondulatória, óptica**. 3 ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica: fluidos, oscilações e ondas e calor**. 5 ed. São Paulo: Blucher, 2014.

OFICINA DE TEXTOS. [Site Institucional]. Disponível em: <<https://www.ofitexto.com.br/wp-content/uploads/2017/06/M%C3%A9todos-s%C3%ADsmicos.gif>>. Acesso em: 03 jan. 2020

PELIZZARI, A *et al.* **Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel**. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf>>. Acesso 22 maio 2020.

PRAIA, J. F. **Aprendizagem significativa em D. Ausubel: Contributos para uma adequada visão da sua teoria e incidências no ensino**. Disponível em: <

<https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/1320/1/Livro%20Peniche.pdf#page=122>>. Acesso em: 22 de maio 2020.

PRESS, F. et al. Para Entender a Terra. 4ª Edição. Bookman Editora. São Paulo. 2004.

REZENDE, F.; LOPES, A. M. A.; EGG, J. M. Identificação de problemas do currículo, do ensino e da aprendizagem de física e de matemática a partir do discurso de professores. *Ciência & Educação* (Bauru), v. 10, n. 2, p. 185-196, 2004.

RIBEIRO, F. B.; MOLINA, E. C. **Ondas sísmicas e o interior da terra**. São Paulo: Departamento de Geofísica da AIG/USP, 2002. Disponível em: <https://www.iag.usp.br/~eder/EAD/apostilas/Geofisica_top04.pdf>. Acesso em: 20 dez, 2019

RICHTER S. S., SAUERWIN, R. A. S. Sequência de atividades didáticas para uma abordagem fenomenológica da ondulatória em uma perspectiva de sala de aula invertida. *Revista Dynamis*. FURB, Blumenau, v. 23, n. 2, p. 18-38, 2017.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA. [Site institucional]. Disponível em: <<https://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/sismologia/2326-cual-es-la-diferencia-entre-magnitud-momento-y-magnitud-richter>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

VÁLIO, A.B. M. *et al.* **Ser protagonista**: física 2º ano. 3 ed. São Paulo: Edições SM, 2016

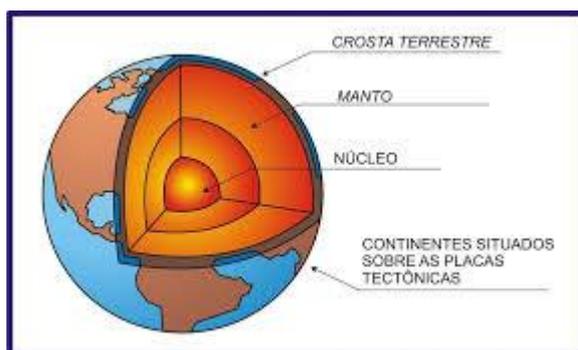
YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II**: Termodinâmica e ondas. 12 ed. São Paulo: Pearson, 2008.

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?



<https://conhecimentocientifico.r7.com/camadas-da-terra-como-e-a-divisao-da-estrutura-interna-de-nosso-planeta/>

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.

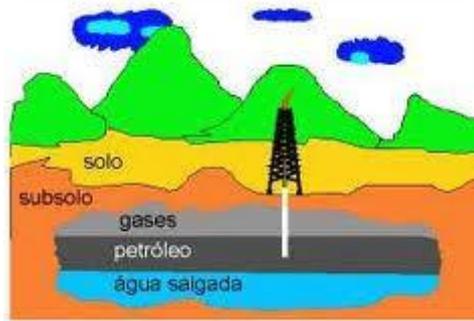
5 – A reflexão é um fenômeno ondulatório que pode ocorrer tanto em ondas mecânicas quanto em ondas eletromagnéticas. De acordo com sua opinião, marque a(s) alternativa(s) que você acredita descrever o fenômeno da reflexão.

- 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 incidência.
- 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.



<http://amora2012petroleo.pbworks.com/w/page/60500151/FrontPage>

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

Apêndice B – Produto Educacional

<p>MNPEF Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</p>		
--	---	---

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 às ondas sísmicas, além de conceitos sobre os fenômenos de reflexão e refração. (Apêndice I do produto)

SEQUÊNCIA DIDÁTICA: refração e reflexão de ondas

Autor: Gedeel Souza dos santos

Orientador: Prof. Dr. Antonio 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 utilizadas 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 seqüência 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 sísmicos.

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.

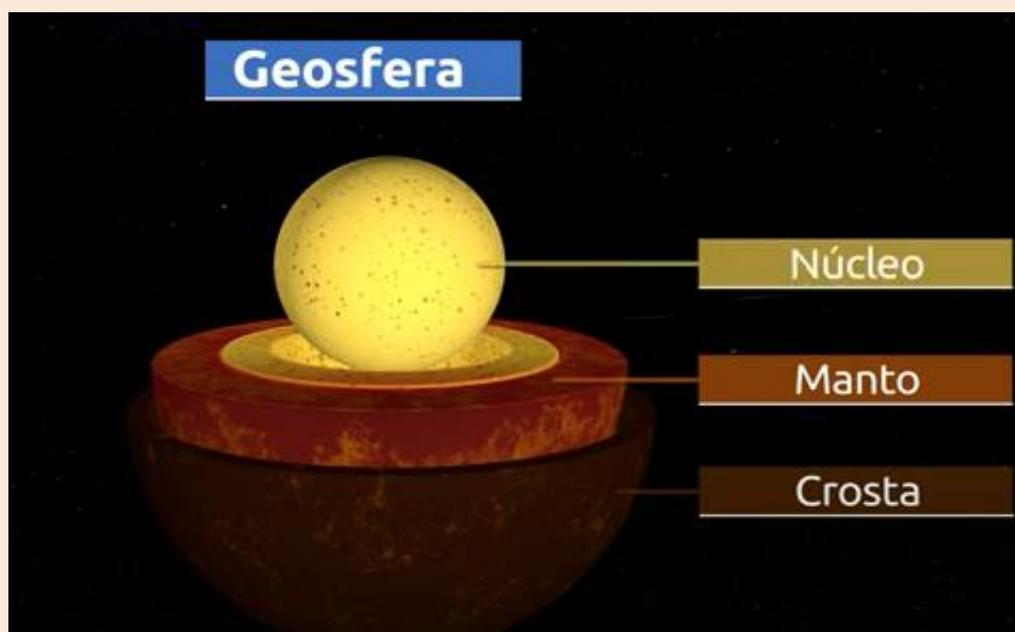


Figura 4: Distribuição das três principais camadas da Terra **Fonte:** Retirado do YouTube – adaptado

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 à 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 figuras 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 6a e 6b.



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

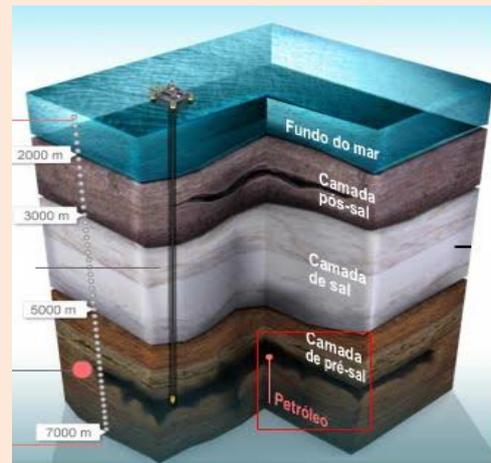


Figura 6b: Camadas internas do solo em grandes profundidades **Fonte:** Wikigeo

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.

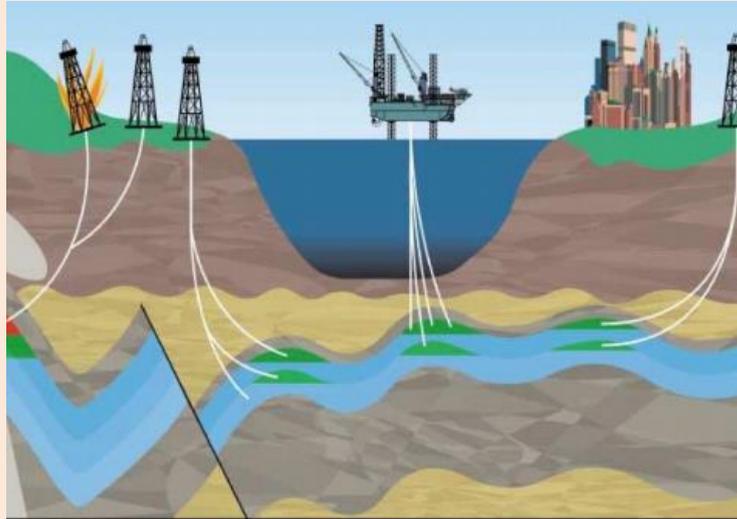


Figura 7: Localização exata dos recursos naturais **Fonte:** USP

- 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

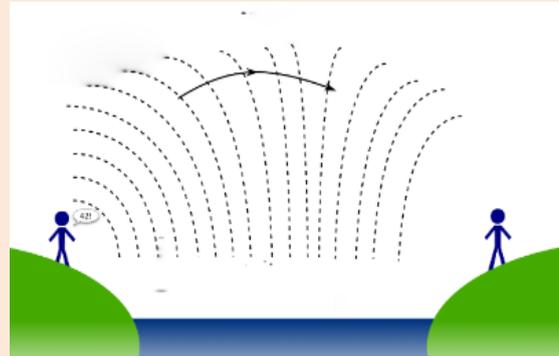


Figura 9: onda sonora. **Fonte:** Acousticstoday, 2020 – adaptada

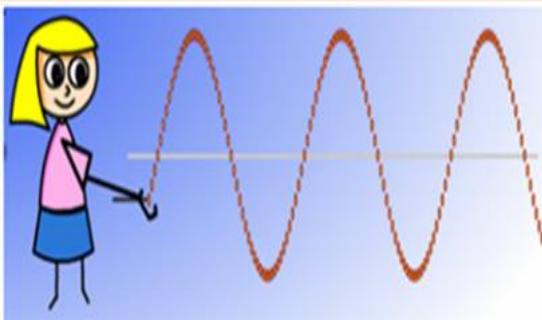


Figura 10: onda em corda. **Fonte:** Oliveira, 2020

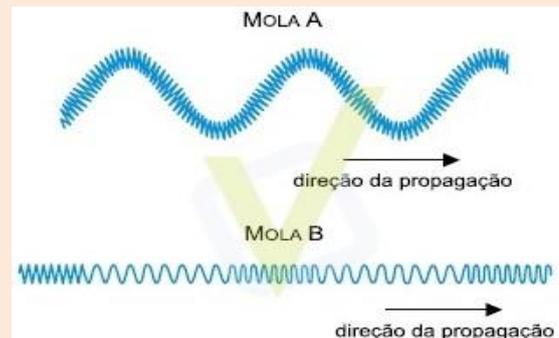


Figura 11: onda em molas. **Fonte:** portalsaofrancisco, 2014

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

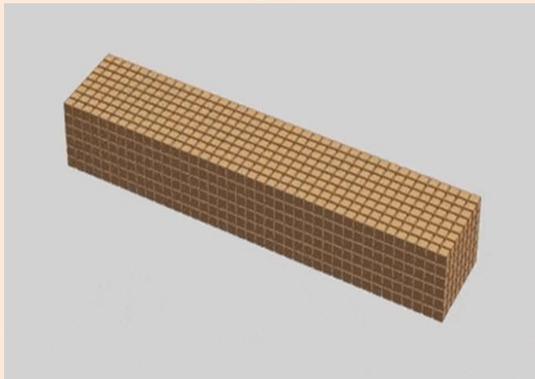


Figura 12: GIF comportamento das partículas com a passagem de uma onda longitudinal.

Fonte: Retirado do site gfyca.com

GIF

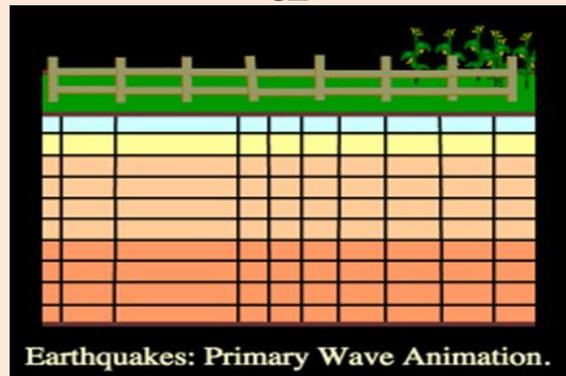


Figura 13: GIF comportamento da superfície terrestre com a passagem de uma onda Primária.

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

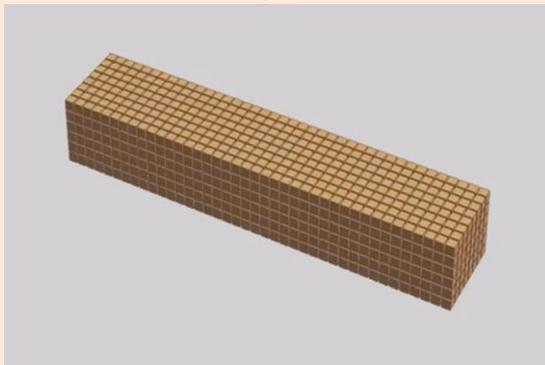
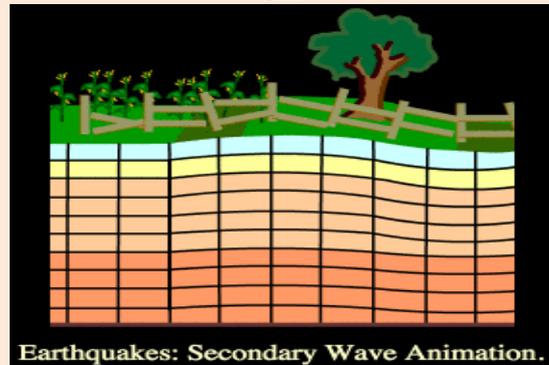


Figura 15: GIF comportamento das partículas com a passagem de uma onda transversal. **Fonte:** Retirado do site gfyat.com

GIF



Earthquakes: Secondary Wave Animation.

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 compressionais (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 ondas P e S viajariam no interior da Terra em linha reta, mas, isso não é o que acontece.

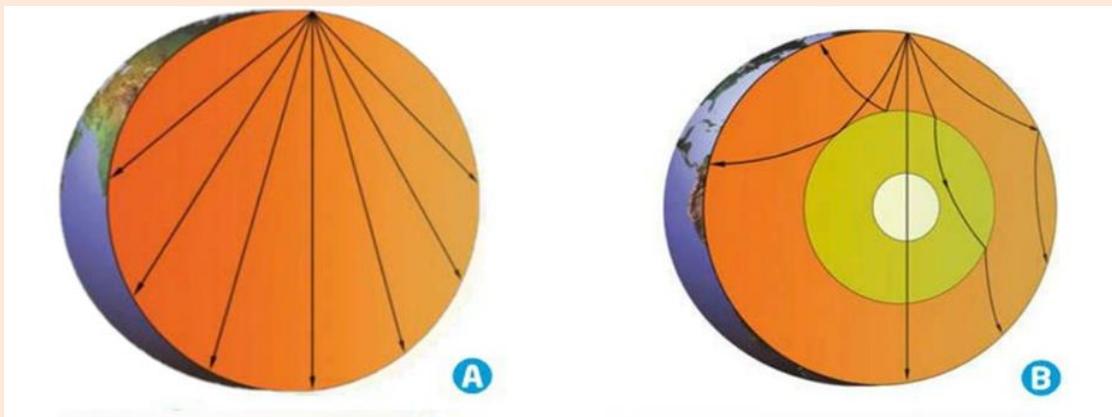


Figura 18: comportamento das ondas sísmicas caso o interior da Terra fosse homogêneo (A), comportamento das ondas sísmicas na realidade (B). **Fonte:** Correia, 2015 - adaptada

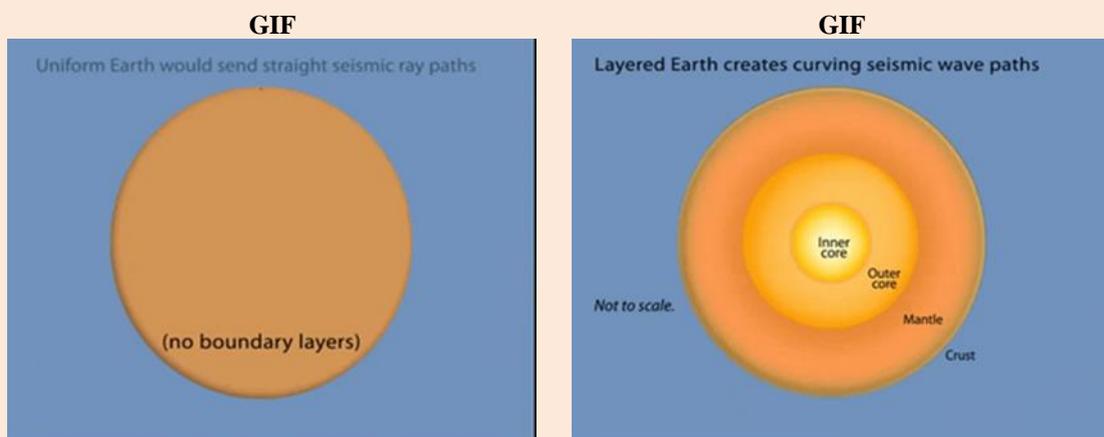


Figura 19: GIF caminho das ondas sísmicas caso a Terra fosse homogênea. **Fonte:** Retirado do site giphy.com

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

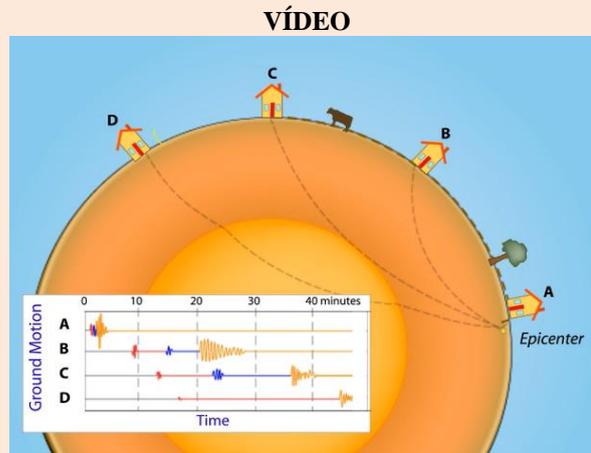


Figura 21: Vídeo do comportamento das ondas primárias e secundárias no interior da Terra. **Fonte:** Retirado do site iris.edu

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 II 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 frentes 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.

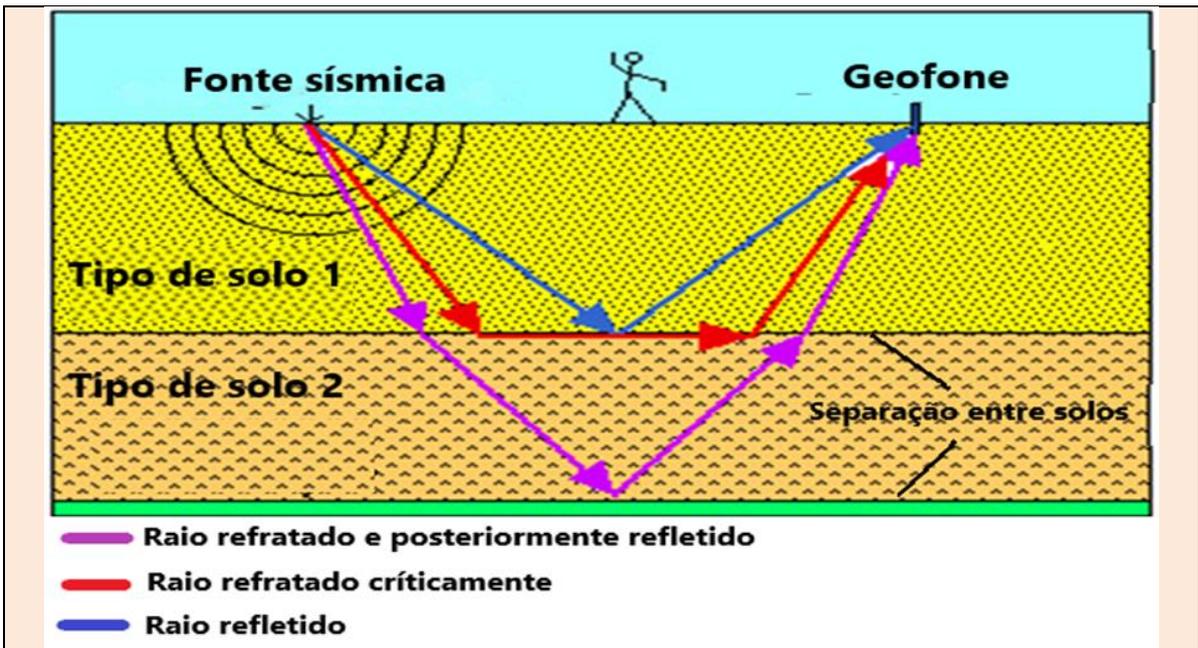


Figura 22: Representação do comportamento das ondas sísmicas. **Fonte:** Retirado do site maps.unomaha – adaptado

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.

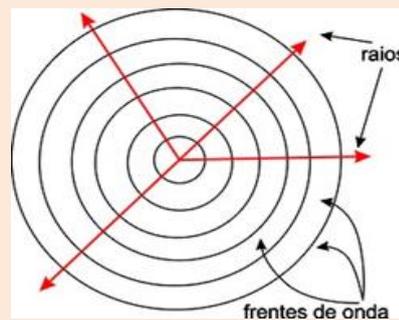


Figura 23: Propagação de uma onda sísmica.
Fonte: Retirada do site masw.com. - adaptada

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

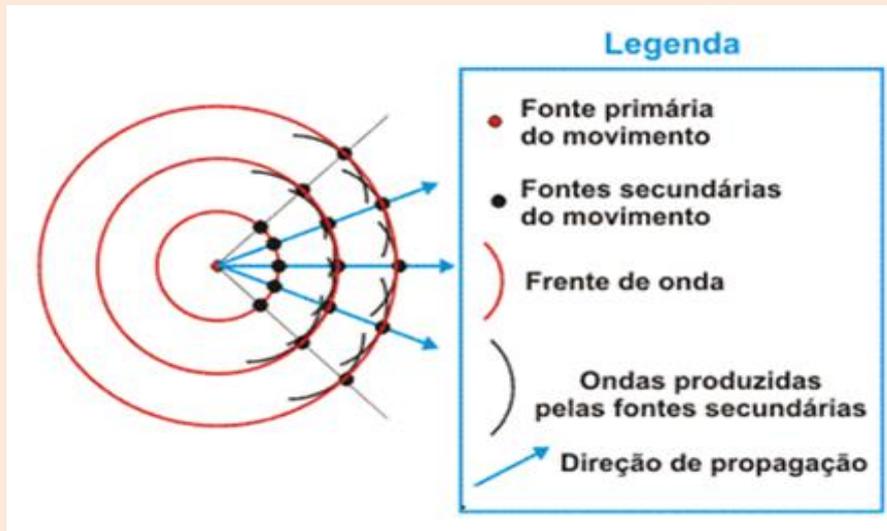


Figura 25: Representação do comportamento radial da frente de onda. **Fonte:** Retirado do site gestãoeducacional.

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.

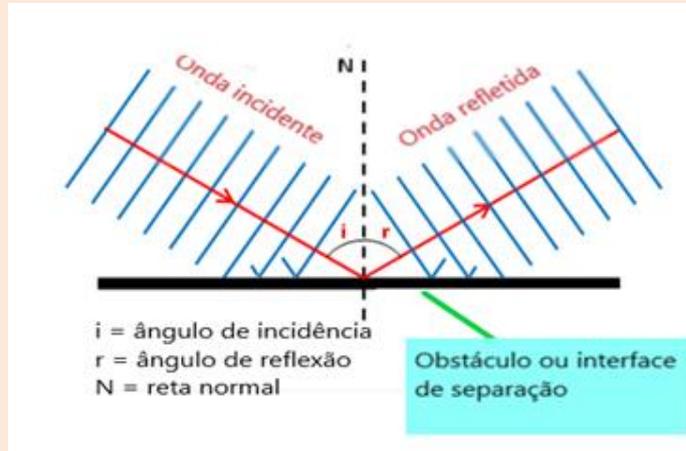


Figura 26: Esquema do fenômeno da reflexão. **Fonte:** Autor.

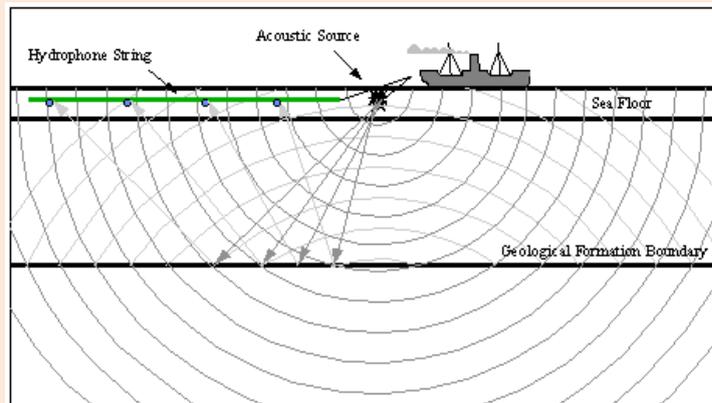


Figura 27: Comportamento das frentes de ondas quando encontram uma separação entre dois meios. **Fonte:** retirada do site ucl.ac.uk.

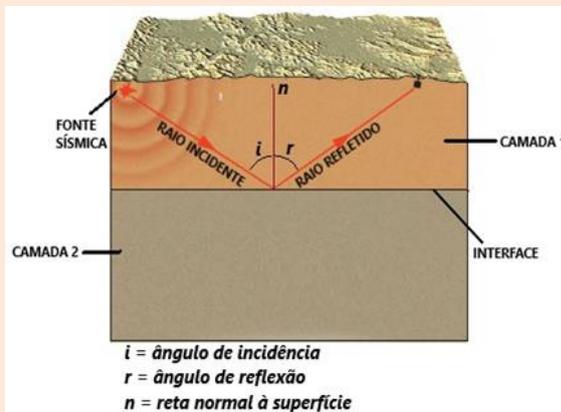


Figura 28: Raio de onda refletindo em subcamada. **Fonte:** Retirada do site mheducation.com. – adaptada.

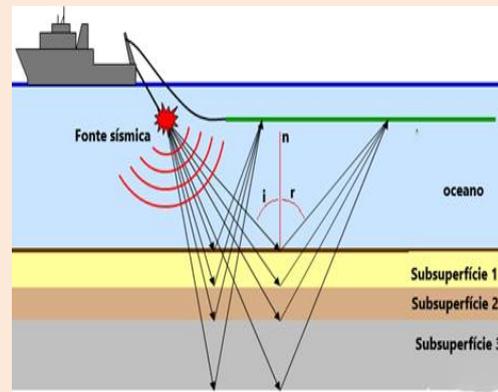


Figura 29: Reflexão de múltiplos raios em múltiplas subcamadas. **Fonte:** Retirada do site flotteeceanographique.fr. – adaptada.

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.

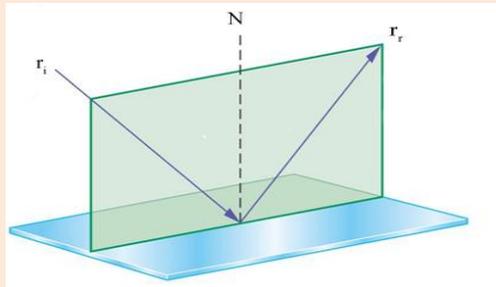


Figura 30: Representação da primeira lei da reflexão **Fonte:** Retirada do site fq.pt.

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

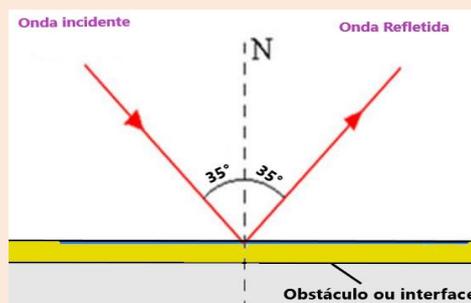


Figura 31: Representação da segunda lei da reflexão. **Fonte:** Autor

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

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.

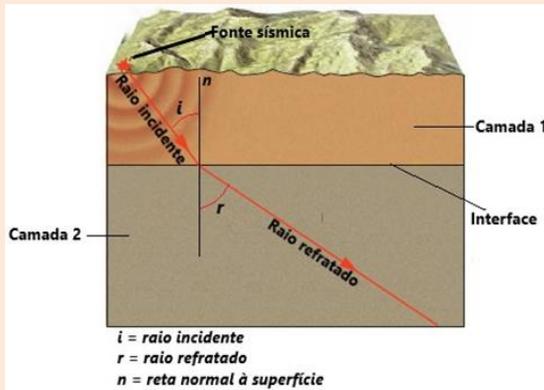


Figura 32: Raio de onda refratado em subcamada.
Fonte: Retirada do site mheducation.com. – adaptada.

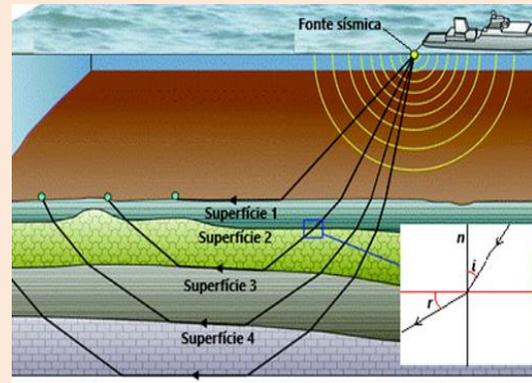


Figura 33: Refração de múltiplos raios em múltiplas subcamadas. Koop e Crutchley, 2017 - adaptada

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

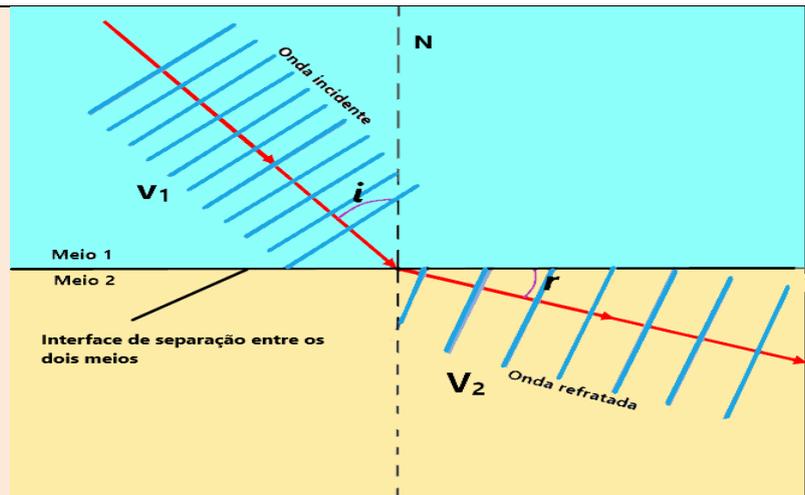


Figura 34: Esquema do fenômeno da refração. **Fonte:** Autor

$$v_2 > v_1$$

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.

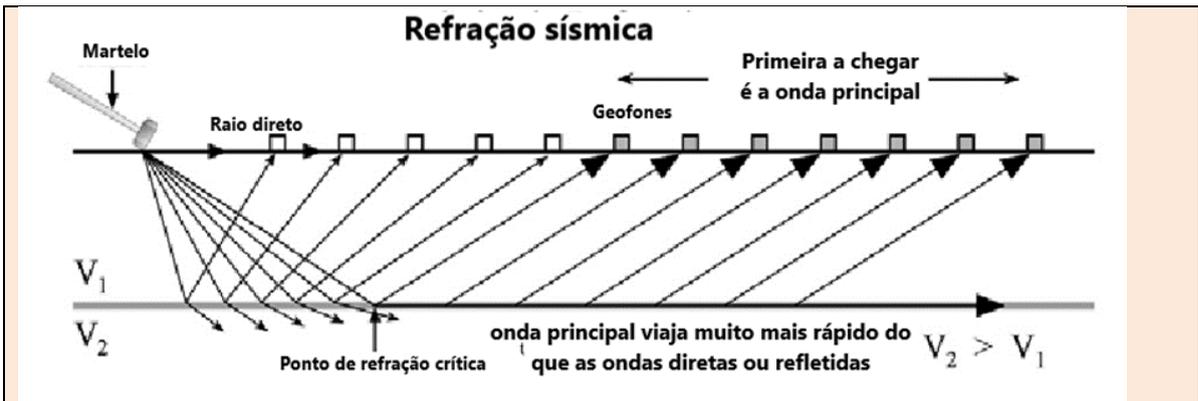


Figura 35: Representação dos raios criticamente refratados. **Fonte:** Murray e Vest, 2004. – adaptada.

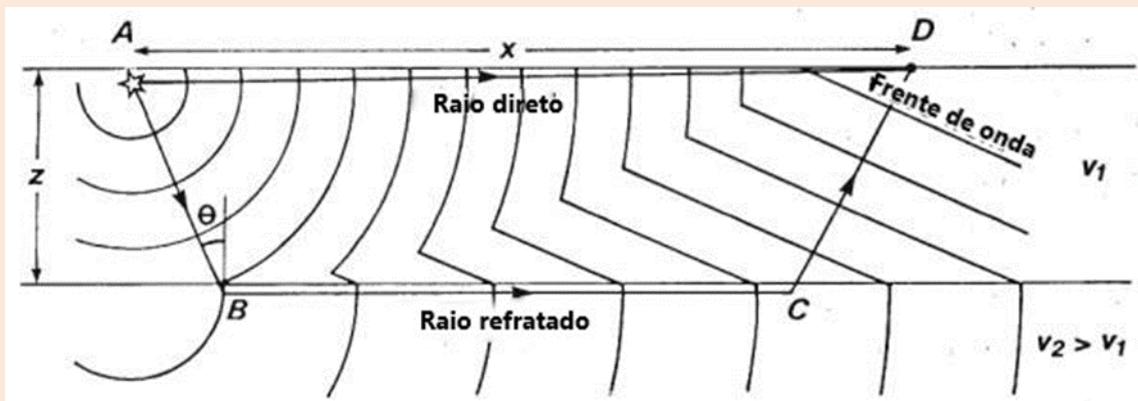


Figura 36: Representação das frentes de onda criticamente refratada. A fonte sísmica D detector. **Fonte:** Kearey et al, 2009.

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).

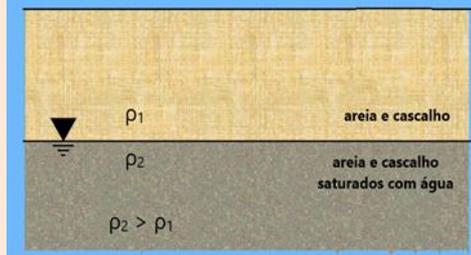


Figura 37: Modelo simples de subsuperfície para implementação dos métodos sísmicos. **Fonte:** Ocak, 2011 – adaptado

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.

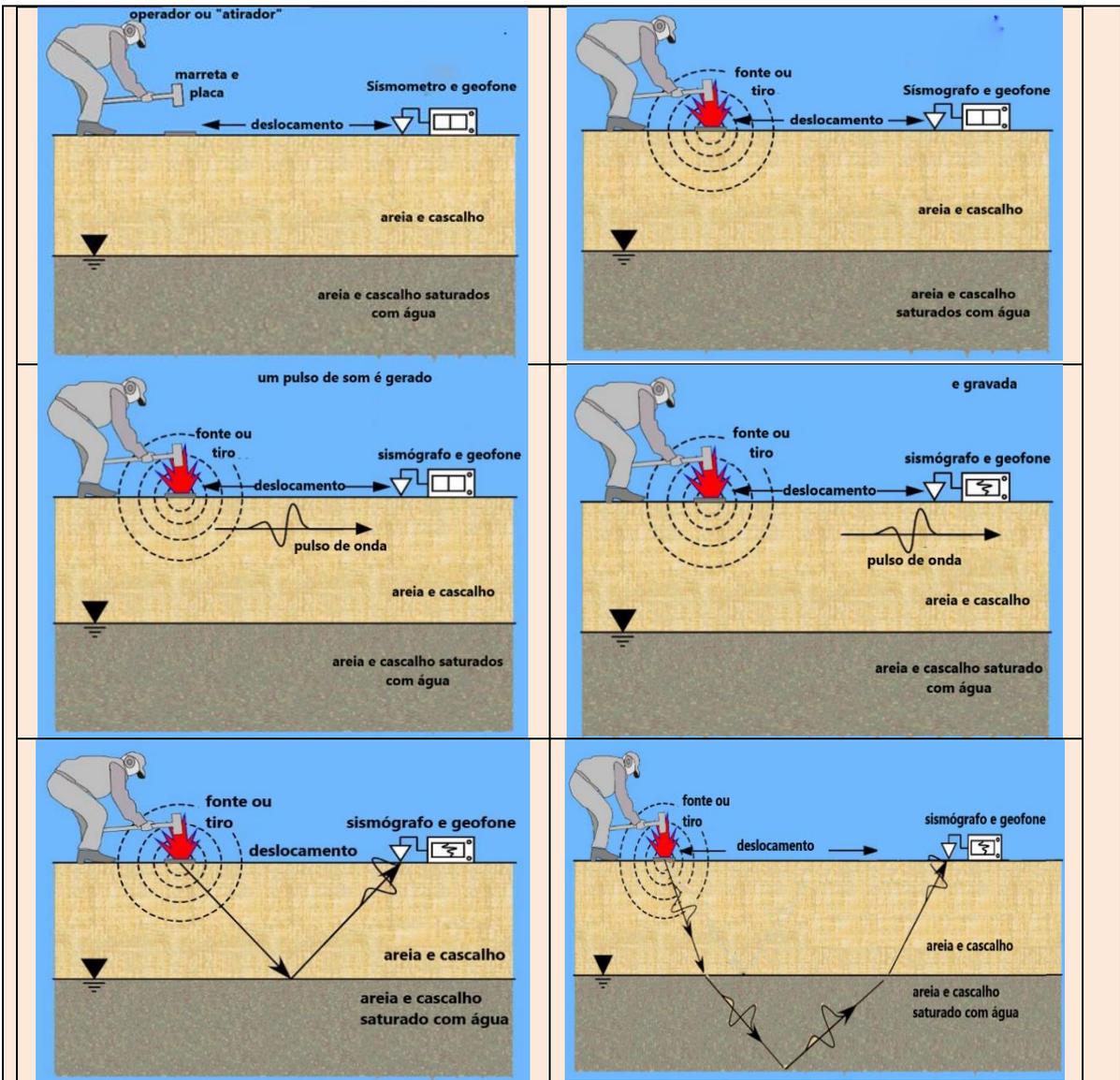


Figura 38: Esquema ilustrando como ocorre montagem, aplicação e coleta de dados dos métodos sísmicos de reflexão e refração. **Fonte:** Ocak, 2011 – adaptado

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.

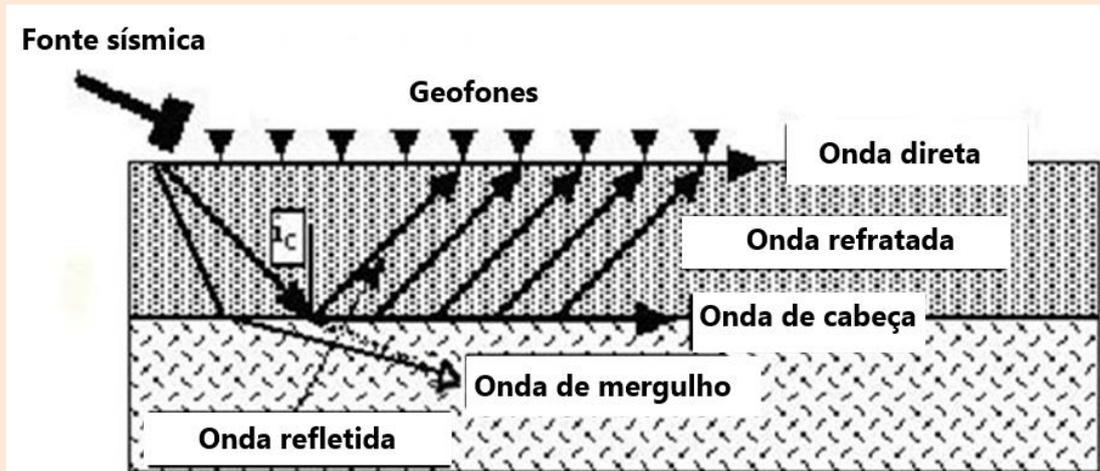


Figura 39: Tipos de ondas primárias que se considera nos métodos sísmicos. Fonte: Retirada do site ucl.ac.uk

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 $\frac{v_1}{\text{sen } \theta_i}$ (onde θ_i é o ângulo de incidência). E a onda refratada vija

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

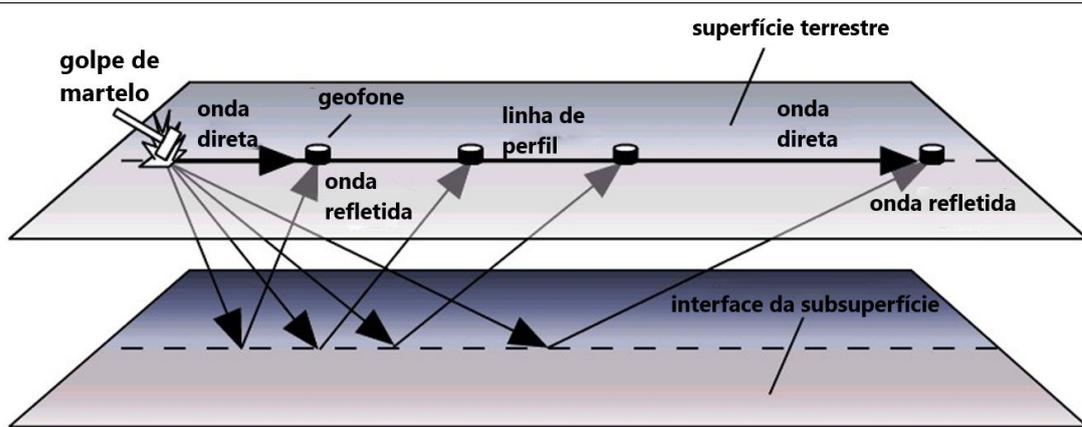


Figura 38: Caminho dos raios direto e refletido. Fonte: Ocak, 2011 – adaptado

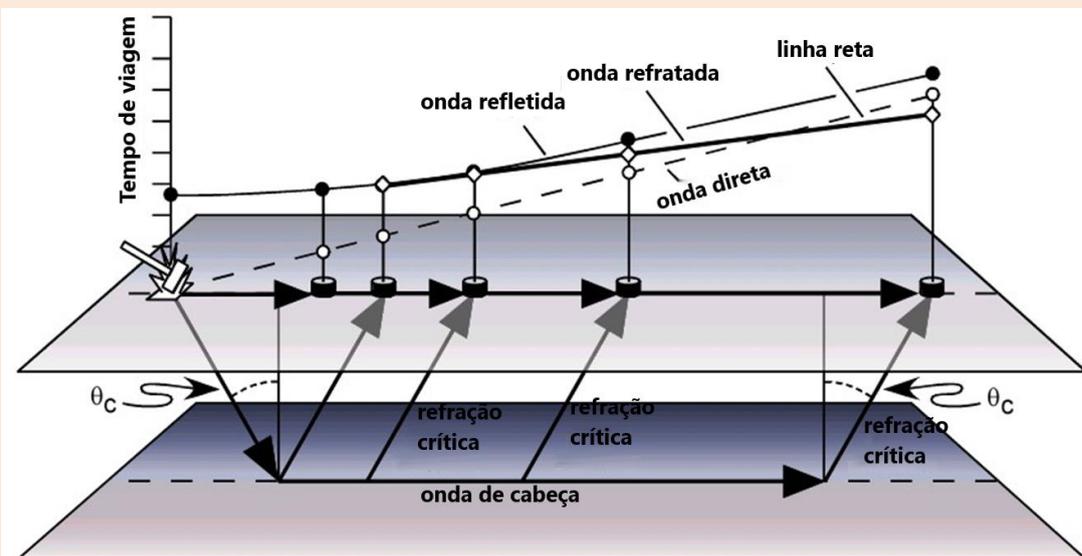


Figura 40: Relação do tempo de chegada das ondas criticamente refratada, refletida e onda direta e onda de cabeça. Fonte: Ocak, 2011 – adaptado

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.

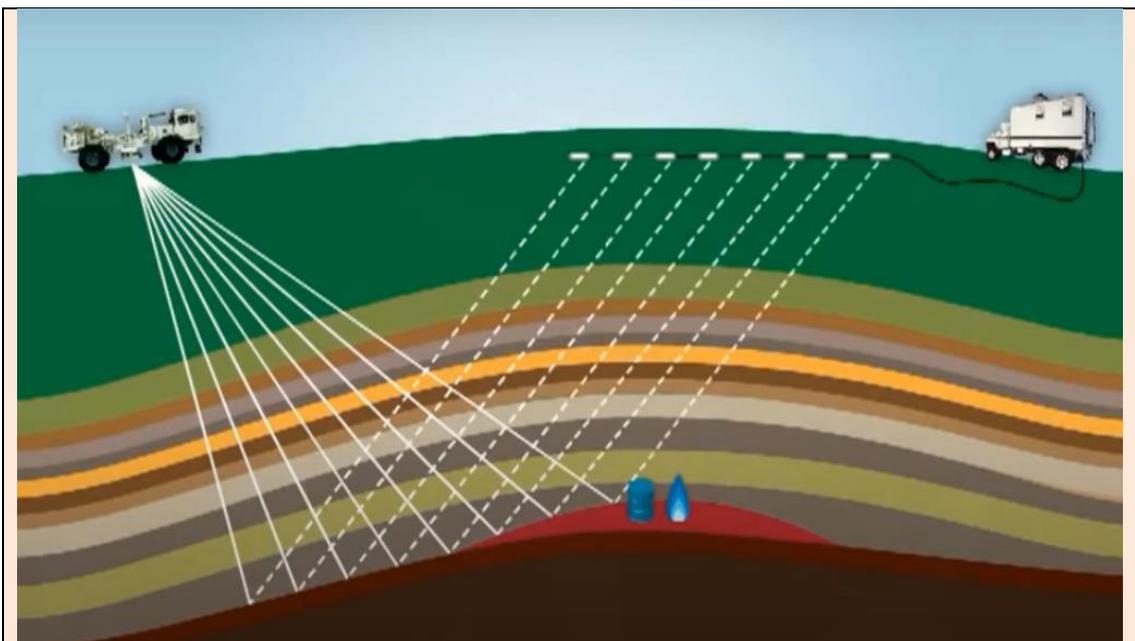


Figura 41: Imagem de vídeo explicando como ocorre a localização do petróleo **Fonte:** Retirado do You Tube

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

Atividade avaliativa (Apêndice III 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/atividade-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.

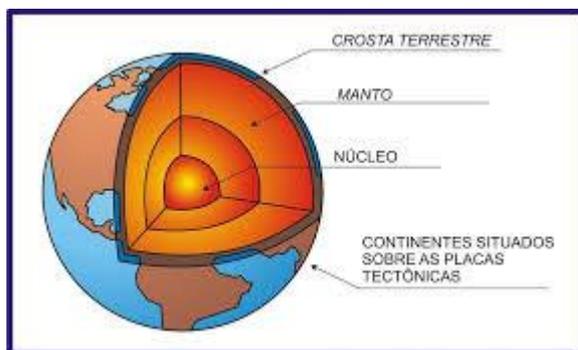
VECTORSTOCK. [Site Institucional]. Disponível em: < <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/soil-layers-and-aquifer-vector-10501378>>. Acesso em 14 jan. 2020.

Apêndice I – 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.

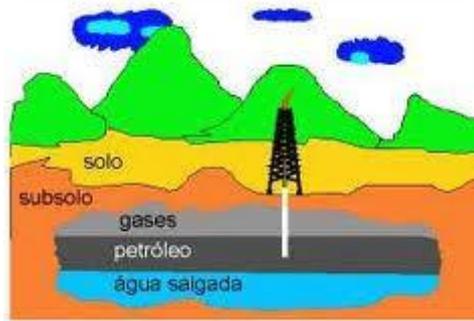
5 – A reflexão é um fenômeno ondulatório que pode ocorrer tanto em ondas mecânicas quanto em ondas eletromagnéticas. De acordo com sua opinião, marque a(s) alternativa(s) que você acredita descrever o fenômeno da reflexão.

- () 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 as ondas naturais e posteriormente se analisa os dados obtidos por meio dessas ondas (Método sísmico). Comente, com suas palavras, como esse método funciona?

Apêndice II – 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 se chama manto, na forma de fluido?

Apêndice III – 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 refração 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?
