

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



PRODUTO EDUCACIONAL

USO DAS FIGURAS DE CHLADNI NO ENSINO DE FÍSICA

Márcio Antonio de Lima

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco 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:

Prof. Dr. Wictor Carlos Magno

Recife – agosto 2020

SUMÁRIO

<u>1. Breve histórico sobre Ernst Chladni</u>	3
<u>2. Utilização das Figuras de Chladni para estudar as ondas sonoras</u>	4
<u>3. Materiais usados no experimento</u>	7
<u>4. Detalhamento dos itens necessários para realização do experimento</u>	8
<u>5. Sequência didática de ensino pautada na teoria de David Ausubel</u>	12
<u>6. Detalhamento das aulas didáticas</u>	133
<u>6.1. Aula 1 – Apresentação do produto e introdução a mecânica ondulatória</u>	
.....	Erro! Indicador não definido.
<u>6.2. Aula 2 – Analisando os principais fenômenos ondulatório</u>	14
<u>6.3. Aula 3 – Estudo do som</u>	16
<u>6.4. Aula 4 – Aplicação do segundo questionário</u>	17
<u>6.5. Aula 5 – Demonstração do produto - as Figuras de Chladni</u>	18
<u>6.6. Aula 6 - Reaplicação do primeiro questionário</u>	18
<u>7. Aplicação do produto na escola</u>	200
<u>8. Conclusões</u>	34
<u>9. Referências Bibliográficas</u>	35

1. BREVE HISTÓRICO SOBRE ERNST CHLADNI

O físico Ernst Florens Friedrich Chladni nasceu em 30 de novembro de 1756 na cidade de Wittenberg, Alemanha. Seus pais se chamavam Ernst Martin Chladni e Johanna Sophia Chladni.

Iniciou seus estudos na universidade de Wittenberg, onde cursou direito devido à insistência do seu pai, que era reitor e professor da mesma universidade. Porém, sua maior paixão era a música, sonho esse que só foi realizado após a morte do seu pai, mesmo tendo esse desejo e indo contra a sua vontade, chegou a lecionar também nessa universidade após passar por dificuldades econômicas. Na Fig. 01 vemos uma foto do físico Ernst Chladni, já adulto.



Figura 01 – Foto do físico Ernst Chladni.

Quando Chladni concluiu seu curso de Direito, ele queria alçar novos rumos na área de acústica, o que só foi alcançado pouco tempo depois do falecimento do seu pai. Hoje Chladni é reconhecido mundialmente como o *pai da acústica*. Seus interesses de pesquisa envolviam o estudo dos diferentes tipos de materiais que produzissem sons em superfícies planas vibrantes. Ele desenvolveu um experimento com o auxílio de um arco de violino no qual era possível visualizar os modos normais de vibração de uma membrana, ou de visualizar os seus modos naturais de vibração (harmônicos).

Em meados do século XVIII, Chladni foi o pioneiro na visualização das ondas sonoras em meios materiais; sendo seu clássico experimento de vibração de uma placa metálica até hoje usado na afinação de diferentes tipos de instrumentos musicais. Muitos cientistas apoiaram-se posteriormente em suas teorias para desenvolver ou melhorar seus experimentos na área de acústica, dentre eles podemos citar: Savart, Young, Faraday, dentre outros.

O experimento realizado por ele consistia em adicionar lentamente areia em uma placa de metal ou vidro e com o auxílio de um arco do violino, fazer a placa vibrar. Com isso era possível observar a formação de diferentes imagens e formas geométricas na superfície das placas; ocorrendo ainda uma mudança nos perfis gerados quando se apoiavam os dedos da mão em diferentes regiões das placas. O experimento de Chladni foi motivado por uma descrição feita por Georg C. Lichtenberg (1742-1799). Este último pesquisador afirmava que, se uma descarga elétrica fosse aplicada em uma superfície plana com oxido vermelho de chumbo ou pó de enxofre espalhados sobre a superfície da placa, então seria possível observar diferentes padrões e figuras na superfície da placa. Essas figuras foram chamadas na época de “Figuras Sonoras”. Posteriormente outros pesquisadores passaram a chamar essas figuras de “Figuras de Chladni”, nome esse que foi adotado neste trabalho.

2. UTILIZAÇÃO DAS FIGURAS DE CHLADNI PARA ESTUDAR AS ONDAS SONORAS

No primeiro momento, um professor de Física ao observar ou olhar um padrão típico formado pelas “Figuras de Chladni” poderá levantar alguns questionamentos, tais como:

- Por qual motivo essas placas produzem figuras diferentes?
- Como posso utilizar esse experimento em sala de aula?
- De que maneira esse experimento pode facilitar o ensino/aprendizagem dos meus alunos?

O objetivo desse trabalho (produto) é demonstrar a propagação do som através de algumas placas em acrílico nas seguintes formas geométricas: triangular, circular e quadrada. Propomos realizar o experimento das Figuras de Chladni para alunos do 9º ano do ensino fundamental. Como são alunos do último ano do ensino fundamental, esse experimento visa apenas demonstrar a propagação do som de forma qualitativa, não se detendo nos cálculos matemáticos mais complexos.

Nas Figuras 02, 03 e 04 vemos o aparato construído para a realização do experimento para visualização das Figuras de Chladni. Na Figura 02 vemos o experimento sendo realizado numa placa quadrada de acrílico. Na Figura 03 o experimento foi repetido em uma placa circular de acrílico. Já na Figura 04 utilizamos uma placa triangular, também de acrílico.



Figura 02 – Experimento das Figuras de Chladni realizado numa placa quadrada.



Figura 03 – Experimento realizado numa placa circular de acrílico.



Figura 04 – Experimento realizado numa placa triangular de acrílico.

Os diferentes padrões que podem ser obtidos dependem do tipo de material do qual é feita a placa, bem como da sua espessura, elasticidade e da massa; além da frequência a qual ela é obrigada a vibrar.

As figuras podem ser formadas quando as placas são submetidas a uma determinada frequência de vibração; conhecida como condição de ressonância da placa, quando as mesmas vibram em frequências especiais bem definidas (modos normais de vibração) e formam as Figuras de Chladni.

Essa oscilação acontece longitudinalmente nas placas, produzindo pontos nodais, como podemos observar nas Figuras 02, 03 e 04, em que a oscilação acontece tanto no centro como as extremidades da placa, produzindo imagens distintas de acordo com a frequência a ela submetida.

Na Figura 05 vemos um diagrama explicativo em que os pontos X e Y são chamados de pontos nodais, ou seja, pontos fixos na superfície das placas. Esses pontos permanecem estacionários, ou podem vibrar apenas com pequena amplitude. Enquanto as extremidades e o centro da superfície podem vibrar livremente. Com o passar do tempo, qualquer substância colocada na superfície da placa e submetida a essa oscilação, poderá se acomodar nos pontos nodais, os quais possuem menor amplitude de vibração por estarem próximos da situação de repouso.

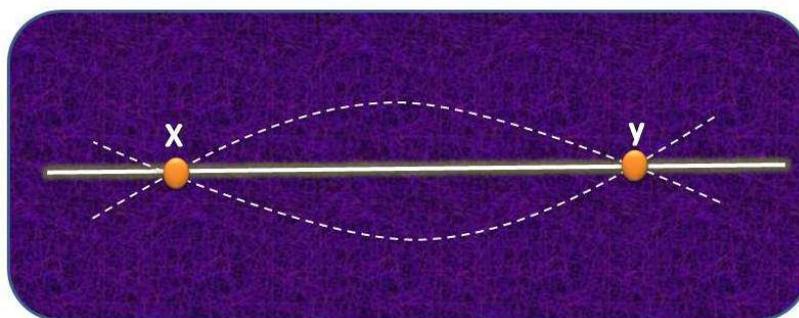


Figura 05 – Formação de pontos nodais sobre uma superfície vibrante.

Nesse experimento, iremos perceber situações concretas relacionadas às leis da acústica. Iremos perceber que os sons de maior frequência (sons mais agudos) poderão produzir figuras mais abstratas, com mais detalhes e um maior número de linhas nodais. Já os sons de menor frequência (sons mais graves) formarão figuras mais distintas, mais simples e com um menor número de linhas nodais.

3. MATERIAIS USADOS NO EXPERIMENTO

- Cano de PVC de 20 mm de diâmetro e 60 mm de comprimento;
- Pistola e bastão para cola quente;
- Fita adesiva crepe;
- Placa em acrílico no formato de um triângulo equilátero com 200 mm de lado, espessura de 2,50 mm e 30,7 g;
- Placa circular com 200 mm diâmetro, espessura de 2,50 mm e 36,8 g;
- Placa quadrada com 200 mm x 200 mm, espessura de 2,50 mm e 66,8 g;
- Alto - falante 6HTS320B 320 W PMPO 40 W RMS;
- Amplificador de som Bluetooth BT 118;
- Parafuso 80 mm de comprimento e 4 mm de espessura;
- Duas arruelas de 4,2 mm de diâmetro interno e 8 mm de diâmetro externo;
- Duas porcas com rosca de 6 mm;
- Um celular (*smartphone*) para a instalação de um aplicativo de controle de frequência (*FrequencyGenerator*);
- Estilete;
- Cabo/Fio para alto-falante;

- Régua;
- Corantes (vermelho, amarelo, verde e azul);
- Areia fina;

4. DETALHAMENTO DOS ITENS NECESSÁRIOS PARA REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Alto - falante 6HTS320B 320 W PMPO 40 W RMS

O alto-falante é de grande importância para que o experimento seja bem sucedido. É ele quem faz o movimento oscilatório necessário para as placas entrarem em ressonância. O tipo e a potência de um alto-falante escolhido devem ser tais que permitam um bom desempenho do experimento; porém outros modelos também podem ser usados. Nesse caso se fez necessário retirar a calota do dispositivo para acoplar o cano de PVC de 60 mm, como mostra a Figura 06.



Figura 06. Alto-falante utilizado no experimento.

Amplificador de som Bluetooth BT 118

Existem vários modelos de amplificadores de som. Na questão custo x benefício o modelo BT 118 foi o que melhor se adequou como fonte de vibração para nosso

experimento. Utilizamos o recurso de *Bluetooth* interno deste dispositivo para controlar o experimento através de um aparelho de celular (*smartphone*) com conexão *Bluetooth*.



Figura 06 – Amplificador de som usado no experimento.

Placas de Acrílico

Foram utilizadas nesse experimento três placas de acrílico nos formatos: quadrada, circular e triangular, todas com um furo no centro. As placas foram submetidas a várias frequências de vibração, sendo possível observar as diversas formas e figuras geométricas geradas pela deposição da areia depositada na superfície das placas. Na Figura 07 vemos as placas de acrílico utilizadas com suas dimensões.

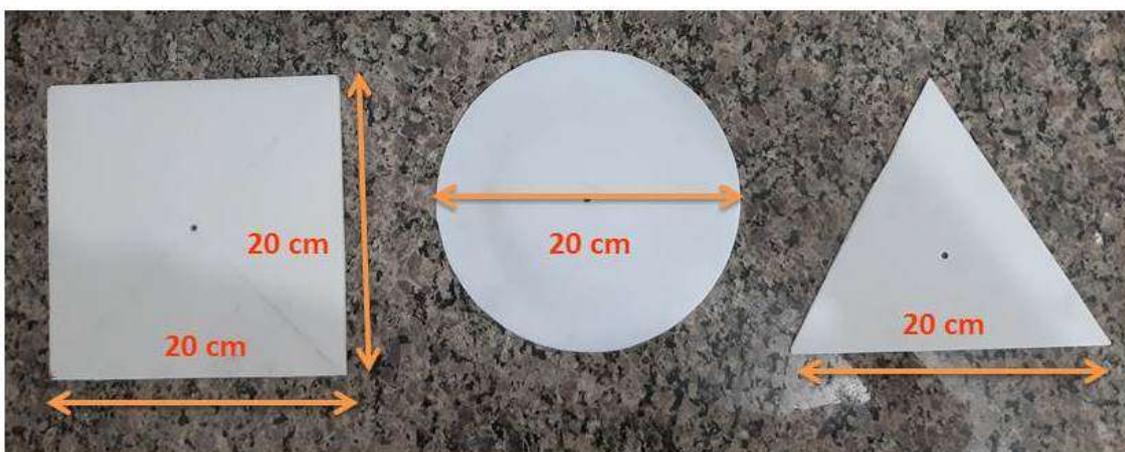


Figura 07. Dimensões da placas de acrílico utilizadas nos experimentos.

Cano de PVC e parafuso fixador

O parafuso fixador é fundamental para dá estabilidade e altura às placas vibrantes. Na Figura 08 vemos como esse parafuso foi inserido no interior do cano de PVC e foi fixado com cola quente ao mesmo. Na extremidade inferior do cano foi enrolada uma fita crepe adesiva para melhor acoplar essa estrutura, de forma estável, ao centro do alto-falante.



Figura 08 - Cano de PVC com parafuso fixador centrado.

Gerador de frequência

Utilizamos um aplicativo baixado da *Internet* para servir como controle da frequência da onda sonora a ser aplicada ao alto-falante. Baixamos o aplicativo *Hz LuxDeLux* para *smartphones* do tipo Andróide. Existem versões similares deste *software* para outros modelos de celulares *smartphones*, os quais funcionam igualmente bem. A finalidade deste gerador é produzir frequências bem definidas que façam as placas vibrarem e entrarem em ressonância. Na Figura 09 vemos a tela de operação do aplicativo instalado em um celular Andróide.

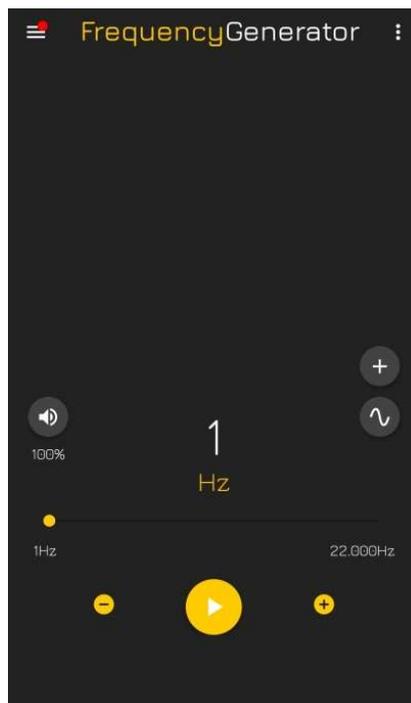


Figura 09 - Gerador de frequência de som.

Areia colorida

Sugerimos a utilização de diferentes tipos de areia para polvilhar sobre a superfície das placas vibrantes; o que permite melhor observar as Figuras de Chladni geradas. Na Figura 10 vemos algumas amostras de areia misturada com diferentes tipos de corantes (anilina).



Figura 10. Areia colorida utilizada nos experimentos.

5. SEQUÊNCIA DIDÁTICA DE ENSINO PAUTADA NA TEORIA DE DAVID AUSUBEL

A proposta desse trabalho educacional baseia-se no estudo da acústica, voltada para alunos do 9º ano do ensino fundamental. Esse produto foi sistematizado a partir da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, com base na qual será montado um equipamento concreto que demonstrará a existência das ondas sonoras através das Figuras de Chladni observadas.

Aulas	Percursos	Período
Aula 1 Apresentação do Produto e aplicação do questionário diagnóstico sobre o conhecimento prévio dos alunos	- No primeiro momento iremos apresentar a ideia do produto, mostrando o caminho que será percorrido, desde a introdução até o resultado final esperado.	30 minutos
	- Na segunda parte, os alunos serão sabatinados com perguntas relacionados à ondulatória (Acústica), em seguida, eles irão responder um questionário que abordarão questões do seu cotidiano, com o intuito de saber até onde vão seus conhecimentos prévios sobre o assunto abordado.	2hs
Aula 2 Apresentar de forma clara e objetiva os principais fenômenos ondulatórios, desde fatos que acontece na natureza bem como através de experimentos que ocorrem em nosso cotidiano.	- Nessa fase, abordaremos a diferença entre amplitude e comprimento de onda, frequência, período e velocidade de uma onda, ondas transversais e longitudinais.	2h30min.
Aula 3	- Comportamento do som; - Propagação do som;	2h30min

Estudo do Som	- Altura/tom, intensidade e timbre; - Fenômenos sonoros e; - Ressonância.	
Aula 4 Segundo questionário	Aplicação do segundo questionário.	1h
Aula 5 Aplicação do produto	- Neste momento, os alunos deverão observar a formação de imagens através de uma membrana vibrando, realizando o experimento das “ <u>Figuras de Chladni</u> ”.	1h40min.
Aula 6 Reaplicação do primeiro questionário.	Alunos refazendo o primeiro questionário	1h40min.

6. DETALHAMENTO DAS AULAS DIDÁTICAS

“Apresentação do produto e introdução à mecânica ondulatória”

6.1 - AULA 01

TÍTULO – APRESENTAÇÃO DO PRODUTO E INTRODUÇÃO A ONDULATÓRIA

JUSTIFICATIVA:

Sabendo que os alunos dos anos finais do Ensino Fundamental, dentre eles o 9º ano, sabem pouco ou quase nada sobre ondulatória, por essa razão, foi preciso fazer um levantamento prévio com o objetivo de conhecer os subsunçores da estrutura cognitiva dos mesmos, com a finalidade de entender até onde vão os seus conhecimentos e assim contribuir para adquiri-los ou aperfeiçoá-los.

OBJETIVO GERAL

Apresentar de forma clara e objetiva os principais fenômenos ondulatórios, desde fatos que acontece na natureza bem como através de experimentos que ocorrem em nosso cotidiano.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender o conceito de onda;
- Identificar o som como um tipo de onda mecânica;
- Aprender o conceito e as características do som.

RECURSOS METODOLÓGICOS

- Data show;
- Marcadores para quadro branco.

DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

No primeiro momento, iremos apresentar a ideia do Produto, mostrando o caminho que será percorrido, desde a introdução até o resultado final esperado. Na segunda parte, os alunos serão sabatinados com perguntas relacionados à ondulatória (Acústica), em seguida, eles irão responder um questionário que abordarão questões do seu cotidiano, com o intuito de saber até onde vão seus conhecimentos prévios sobre o assunto abordado.

AVALIAÇÃO

Nessa primeira avaliação, os alunos serão avaliados a partir de sua participação e de seus questionamentos sobre o assunto abordado da disciplina e responderão a um diagnóstico sobre o mesmo em sala de aula.

6.2 - AULA 02

TÍTULO – ANALISANDO OS PRINCIPAIS FENÔMENOS ONDULATÓRIO.

JUSTIFICATIVA:

Sabendo que os alunos dos anos finais do Ensino Fundamental, dentre eles o 9º ano, sabem pouco ou quase nada sobre ondulatória, por essa razão, foi preciso fazer um levantamento prévio com o objetivo de conhecer os subsunçores da estrutura cognitivas dos mesmos, com a finalidade de entender até onde vão os seus conhecimentos e assim contribuir para adquiri-los ou aperfeiçoá-los.

OBJETIVO GERAL

Discutir os principais processos de produção das ondas mecânicas

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as principais características de uma onda;
- Relacionar as características de uma onda com as características do som;
- Compreender basicamente como os instrumentos musicais funcionam;
- Entender a reflexão do som e o significado do eco.

RECURSOS METODOLÓGICOS

- Data show;
- Marcadores para quadro branco;
- Mola de metal;
- Corda;
- Fita;
- Haste e base de metal.

DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

Nessa atividade, os alunos irão conhecer os principais elementos que compõe uma onda, dentre eles podemos destacar; o pulso, comprimento de onda, velocidade, amplitude, período, frequência, dentre outros. Além de diferenciar uma onda longitudinal e transversal, bem como observar como uma onda se propaga em várias direções, tudo isso através de experimentos com corda e mola de metal. Sendo o objetivo final é que o aluno compreenda que ondas são perturbações que se propagam por um meio qualquer transportando energia sem transportar matéria.

AValiação

Os alunos serão avaliados através da participação das aulas teóricas, no engajamento dos experimentos e na resolução do questionário.

6.3 - AULA 03

TÍTULO – ESTUDO DO SOM

JUSTIFICATIVA:

Sabendo que os alunos dos anos finais do Ensino Fundamental, dentre eles o 9º ano, sabem pouco ou quase nada sobre acústica, por essa razão, foi preciso fazer um levantamento prévio com o objetivo de conhecer os subsunçores da estrutura cognitivas dos mesmos, com a finalidade de entender até onde vão os seus conhecimentos e assim contribuir para adquiri-los ou aperfeiçoá-los.

OBJETIVO GERAL

Diferenciar os principais tipos de sons e suas causas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aprender o conceito e as características do som;
- Diferenciar sons agudos e sons graves;
- Diferenciar timbre, altura e volume (intensidade) do som.

RECURSOS METODOLÓGICOS

- Data show;
- Marcadores para quadro branco;
- PHET simuladores.

DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

Nessa etapa, os alunos irão observar os principais tipo de som e suas consequências, com demonstração através do software do PHET simuladores. (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound)

AVALIAÇÃO

Nessa primeira avaliação, os alunos serão avaliados a partir de sua participação e de seus questionamentos sobre o assunto abordado da disciplina e responderão a um diagnóstico sobre o mesmo em sala de aula.

6.4 - AULA 04

TÍTULO – APLICAÇÃO DO SEGUNDO QUESTIONÁRIO

JUSTIFICATIVA:

Sabendo que os alunos dos anos finais do Ensino Fundamental, dentre eles o 9º ano, sabem pouco ou quase nada sobre ondulatória, por essa razão, foi preciso fazer um levantamento prévio com o objetivo de conhecer os subsunçores da estrutura cognitivas dos mesmos, com a finalidade de entender até onde vão os seus conhecimentos e assim contribuir para adquiri-los ou aperfeiçoá-los.

OBJETIVO GERAL

Analisar os conhecimentos dos alunos sobre Acústica através de um questionário.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender o conceito de Acústica;
- Aprender o conceito e as características do som.

RECURSOS METODOLÓGICOS

- Ficha de exercício

DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

Nessa atividade, os alunos serão submetidos a mais um questionário, onde eles irão responder sobre o comportamento do som e suas características. Nesse questionário serão abordadas 10 questões subjetivas relacionada à acústica.

AVALIAÇÃO

Nessa segunda avaliação, os alunos serão avaliados a partir de sua participação e de seus questionamentos sobre o assunto abordado no questionário realizado em sala de aula.

6.5 - AULA 05

TÍTULO – DEMONSTRAÇÃO DO PRODUTO - AS FIGURAS DE CHLADNI.

JUSTIFICATIVA:

Em virtude dos alunos do 9º ano do Ensino fundamental ainda não ter afinidade com a Física, a aplicação do Produto consta apenas da parte prática e não se deteve aos cálculos matemáticos.

OBJETIVO GERAL

Discutir os principais processos de formações das Figuras de Chladni através do experimento de ressonância.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Visualizar as principais Figuras de Chladni através da ressonância em placas vibrantes com diferentes geometrias;
- Analisar as principais características das Figuras de Chladni observadas nas placas vibrantes.

6.6 - AULA 06

TÍTULO – REAPLICAÇÃO DO PRIMEIRO QUESTIONÁRIO

JUSTIFICATIVA:

Com a ampliação do Produto e realizada de todas as etapas, observamos que os resultados obtidos neste trabalho evidenciam a importância de uma metodologia de ensino que leve em conta os conhecimentos dos alunos, e nesse contexto foi realizado uma reaplicação do primeiro questionário o “questionário de sondagem”, onde tentamos

associar os conhecimentos estudados com a prática, despertando neles o senso crítico, tornando o Ensino de Física mais significativo e menos abstrato.

OBJETIVO GERAL

Analisar de forma clara, os conhecimentos adquiridos durante as aulas ministradas sobre Ondulatória e Acústica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Observar com clareza os conhecimentos adquiridos durante as aulas;
- Verificar até que ponto os conhecimentos foram absorvidos.

RECURSOS METODOLÓGICOS

- Ficha de exercício

DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

Nessa atividade, os alunos foram submetidos a refazerem o questionário de sondagem, onde o objetivo é verificar até que ponto eles conseguiram absorver os novos conhecimentos adquiridos sobre Ondulatória e Acústica.

AValiação

Os alunos serão avaliados através da reavaliação do primeiro questionário.

7. APLICAÇÃO DO PRODUTO NA ESCOLA

Neste Capítulo apresentaremos o passo a passo da aplicação do produto na escola municipal Professora Janise dos Santos Oliveira, localizada no povoado de Natuba, município de Vitória de Santo Antão, interior de Pernambuco. A atividade foi aplicada em uma turma de alunos do 9º ano do ensino fundamental. Nas fotos 01, 02 e 03 abaixo vemos alguns espaços da escola onde a atividade foi desenvolvida.



Foto 01 – Fachada da Escola.

Foto 02 – Pátio da Escola.



Foto 03 - Sala de aula do 9º ano.

A escola possui 07 (sete) salas de aulas, além das repartições administrativas; porém não dispõe de biblioteca e nem de um laboratório de ciências. Nessa última questão, as atividades voltadas para aulas práticas são realizadas em salas de aula ou no pátio da escola. A escola funciona de segunda à sexta, das 07hs às 17:20hs, sendo o

período matutino com as turmas do infantil ao 5º ano do ensino fundamental e no horário vespertino, com as turmas do 6º ao 9º ano do ensino fundamental.

A proposta didática foi aplicada com uma turma de alunos do 9º ano e foi dividida em seis aulas, sendo a primeira dedicada à apresentação do produto e aplicação de um questionário de sondagem, com o objetivo de conhecer os conhecimentos prévios dos alunos, ou seja, seus subsunçores, de acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, a qual foi utilizada durante todo esse trabalho. No segundo e terceiro encontro, ocorreram com a apresentação dos conteúdos e conceitos básicos sobre ondulatória e acústica para a turma de alunos. No quarto encontro, aplicamos um segundo questionário de avaliação e sondagem da aprendizagem; já no quinto encontro, realizamos a aplicação propriamente dita do produto confeccionado neste trabalho, sendo aplicado novamente o primeiro questionário de sondagem e avaliação como atividade de fechamento no sexto encontro, sendo realizada em seguida a culminância do ciclo das atividades.

Aula 01 – Apresentação do produto e aplicação do questionário de sondagem

O primeiro encontro aconteceu em sala de aula, com a apresentação do produto e discussão dos seus objetivos. Em seguida foi aplicado um primeiro questionário de sondagem contendo dez (10) questões que abordam os conceitos e conhecimentos prévios dos alunos sobre ondulatória e acústica. A turma era composta de 18 alunos, sendo esses residentes na própria comunidade e em sítios circunvizinhos. Nas fotos 04, 05 e 06 vemos o momento de aplicação do questionário de sondagem em sala de aula.



Foto 04 – Aplicação do primeiro questionário de sondagem.



Foto 05 – Aplicação do primeiro questionário de sondagem.



Foto 06 – Aplicação do primeiro questionário de sondagem.

O questionário de sondagem traz questões com pouco grau de dificuldade. Em algumas perguntas os alunos tinham noção da resposta, porém não conseguiam responder plenamente ao questionamento apresentado. Diante dessas dificuldades apresentadas por alguns alunos, foi traçado um plano de ensino mais adequado, para eles receberem as noções sobre ondulatória e acústica.

As questões abordadas no primeiro questionário foram:

1. *O que os fatos de jogar uma pedra no lago e apertar o botão de um controle remoto têm em comum?*
2. *O que a pedra lançada e o controle remoto transferem para o meio de propagação?*
3. *O que um simples balanço e a ponte de Tacoma têm em comum? Será há ressonância ou não tem nada haver? Justifique sua resposta.*

4. Trovão x relâmpago (velocidade do som x velocidade da luz), qual é a diferença entre eles?
5. Por que o violão tem que ter uma caixa acústica?
6. O que acontece quando passamos o dedo molhado numa taça de cristal
7. Quando se fala “rompeu a barreira do som”, o que isso quer dizer?
8. Qual é o nome do aparelho que mede a intensidade do som ou seu nível sonoro?
Por que ele recebe esse nome?
9. Por que não escutamos som no espaço?
10. O que significa ultrassom e infrassom?

Os resultados do primeiro questionário podem ser observados através do gráfico 01 abaixo.

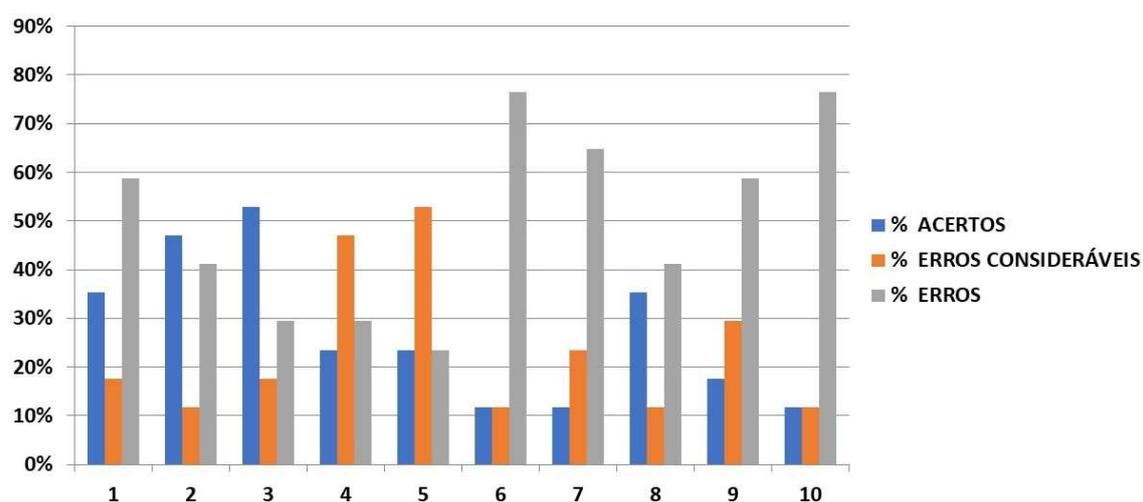


Gráfico 01 - Resultado da aplicação do questionário de sondagem em porcentagem

O gráfico 01 demonstra os resultados do questionário através da porcentagem dos obtidos pelos estudantes no teste de sondagem realizado no primeiro encontro. Nele é possível comparar as porcentagens de acertos, erros considerados e erros.

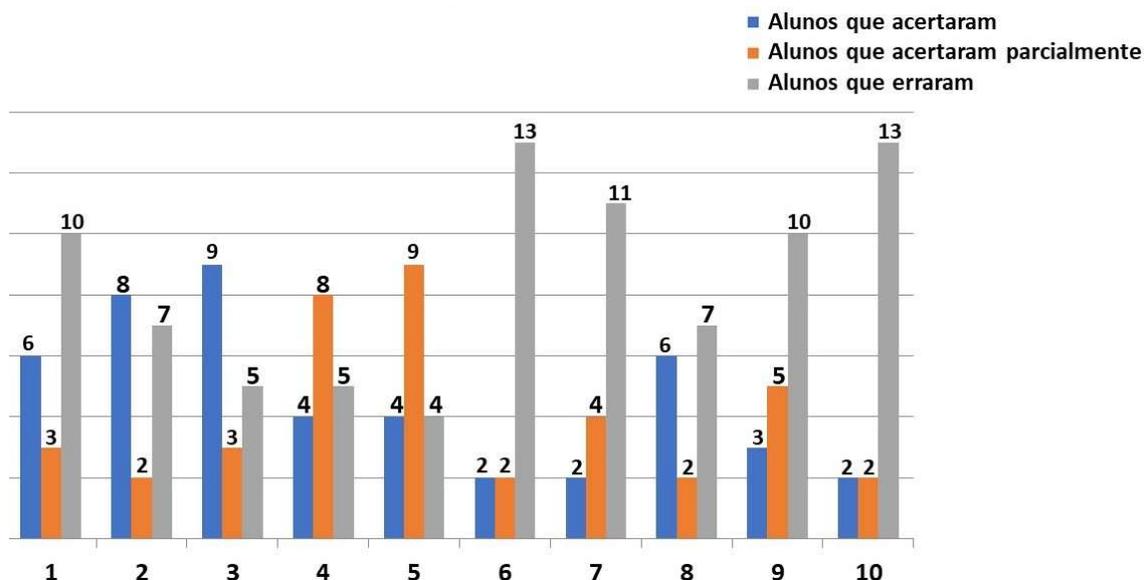


Gráfico 02 - Resultado da aplicação do questionário de sondagem analisado por número de acertos, erros considerados e erros

Já no gráfico 02, é possível verificar a quantidade de acertos, erros consideráveis e erros em cada questão, onde podemos notar nesse primeiro momento que os estudantes possuem pouco ou quase nada sobre o assunto abordado, nesse caso ondulatória.

Aula 02: Introdução teórica sobre mecânica ondulatória e acústica

No segundo encontro com os alunos, tivemos aula teórica sobre ondulatória e acústica. Durante esse segundo momento, abordamos os seguintes conceitos: amplitude, comprimento de onda, período, frequência e velocidade de propagação das ondas. Discutimos ainda as diferenças entre as ondas transversais e longitudinais.

Aula 03: Aula prática sobre ondulatória e acústica

No terceiro encontro, os alunos tiveram aula prática sobre ondulatória e acústica, com ênfase na propagação do som, altura/tom, intensidade e timbre; além de explorar o fenômeno sonoro da ressonância; tudo isso através de demonstrações práticas com experimentos didáticos simples utilizando uma mola, uma taça de vidro e uma corda esticada, todos os materiais utilizados foram de fácil acesso e de baixo custo.

Nas fotos 07, 08, 09, 10 e 11 vemos a realização das atividades práticas em sala de aula com a turma de alunos. Já na foto 12 vemos a turma de alunos respondendo o segundo questionário avaliativo.



Foto 07 – Mola em aço para trabalhar os conceitos de período e frequência de uma onda.



Foto 08 – Analisando o período, o comprimento de onda e a frequência de uma onda mecânica.



Foto 09 – Propagação de uma onda transversal.



Foto 10 – Propagação de uma onda longitudinal.



Foto 11 - Analisando a ressonância em uma taça de vidro.



Foto 12 – Aplicação do segundo questionário avaliativo.

Aula 04: Aplicação do segundo questionário

Um segundo questionário avaliativo foi aplicado à turma (questionário 2). Nesse questionário, os assuntos abordados são direcionados à temática “Acústica”.

1. *O que você entende por onda mecânica?*
2. *Como você define ondas transversais e longitudinais?*
3. *O que é acústica?*
4. *Como você define reflexão do som como significado do eco?*
5. *O que difere a voz feminina da masculina?*
6. *O que uma onda pode transportar?*
7. *Quando uma pedra é arremessada sobre um lago, forma-se um pulso que se propaga por sua superfície. Esse pulso é transversal ou longitudinal?*
8. *Qual a diferença entre amplitude e comprimento de onda?*
9. *Como os morcegos se orientam?*
10. *Agora, diferencie timbre, intensidade e frequência.*

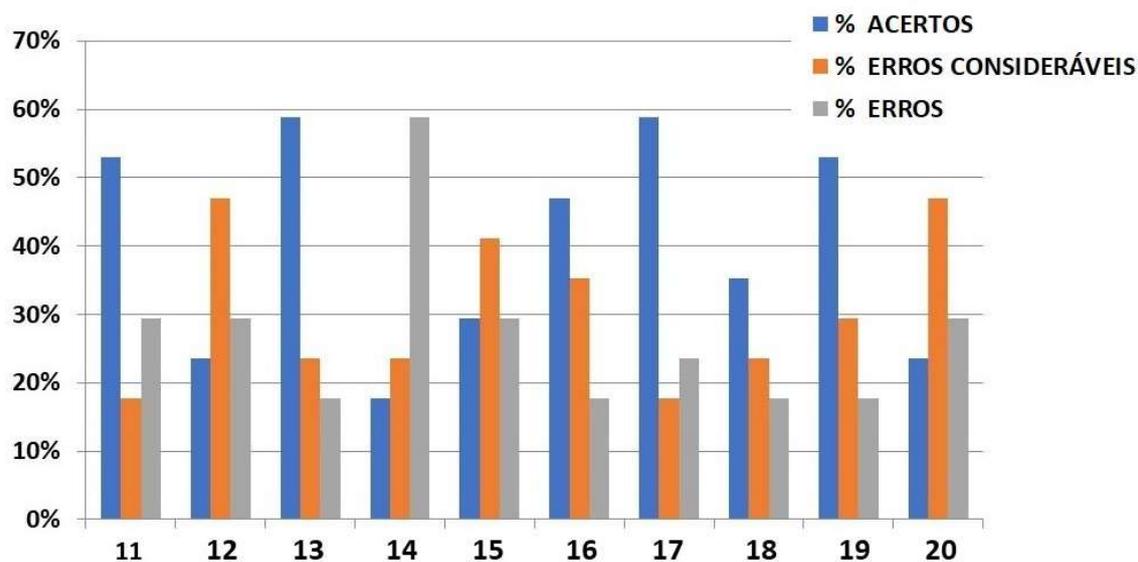


Gráfico 03 – Resultado da aplicação do II questionário

O gráfico 03, exibe um aumento considerável no conhecimento dos estudantes em números de porcentagem, quando comparado com o gráfico 01.

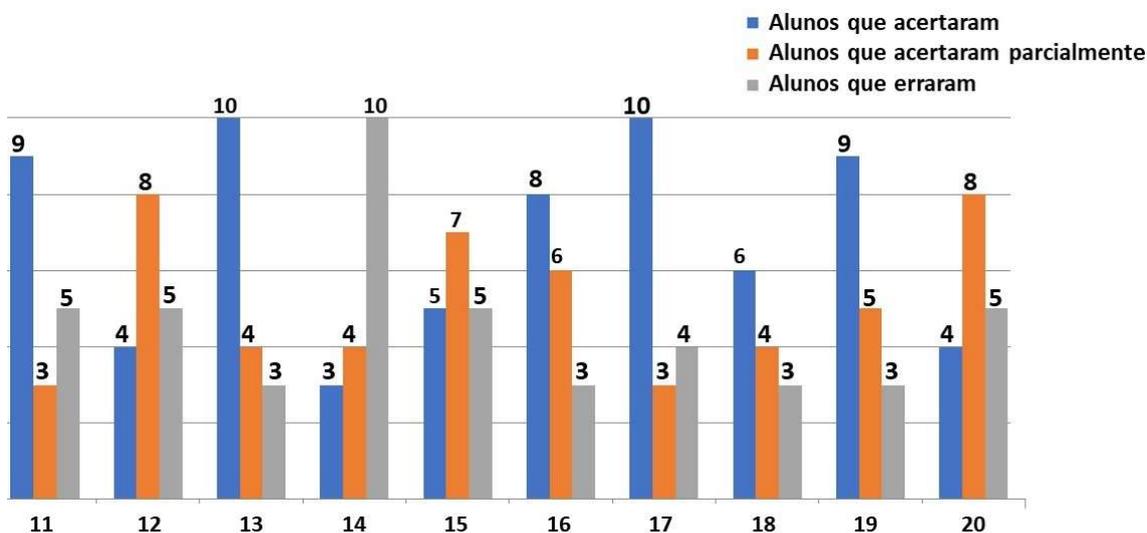


Gráfico 04 - Resultado da aplicação do segundo questionário analisado por número de acertos, erros considerados e erros.

Analisando agora o gráfico 04 e comparando com o gráfico 02, houve um vertiginoso aumento em relação ao número de acertos nas questões abordadas no segundo questionário, isso só foi viável por conta da ação do lúdico com a teoria.

Aula 05: Aplicação do Produto em sala de aula

No quinto encontro, os alunos tiveram acesso ao produto, onde eles puderam manusear e observar a formação das figuras geométrica através da realização do experimento de Chladni com os três modelos de placas disponíveis. As placas vibram através da ressonância produzida pelo modulador de frequência acoplado ao alto-falante. Nas fotos 13, 14, 15, 16 e 17 vemos a turma de alunos realizando o experimento e aplicando na prática o produto educacional desenvolvido neste trabalho.



Foto 13 – Alunos definindo a frequência de operação do experimento no computador portátil.



Foto 14 – Polvilhando a placa circular com areia e observando a formação das Figuras de Chladni.



Foto 15 - Polvilhando a placa triangular com areia e observando a formação das Figuras de Chladni.

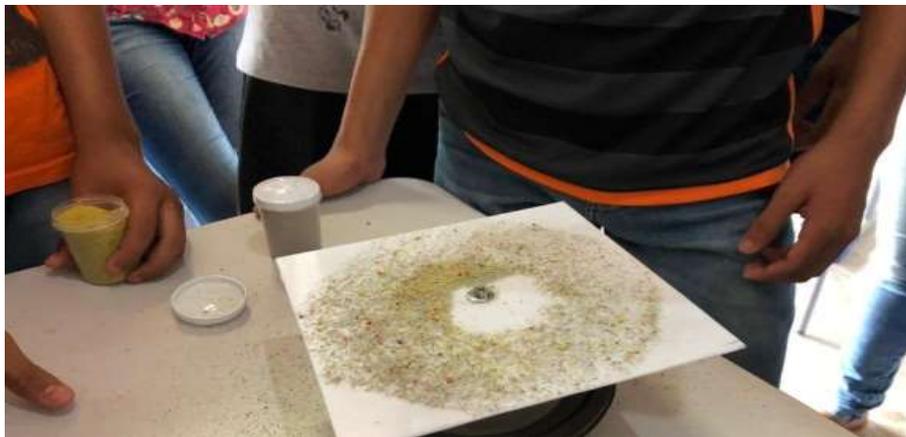


Foto 16 - Polvilhando a placa quadrada com areia e observando a formação das Figuras de Chladni.

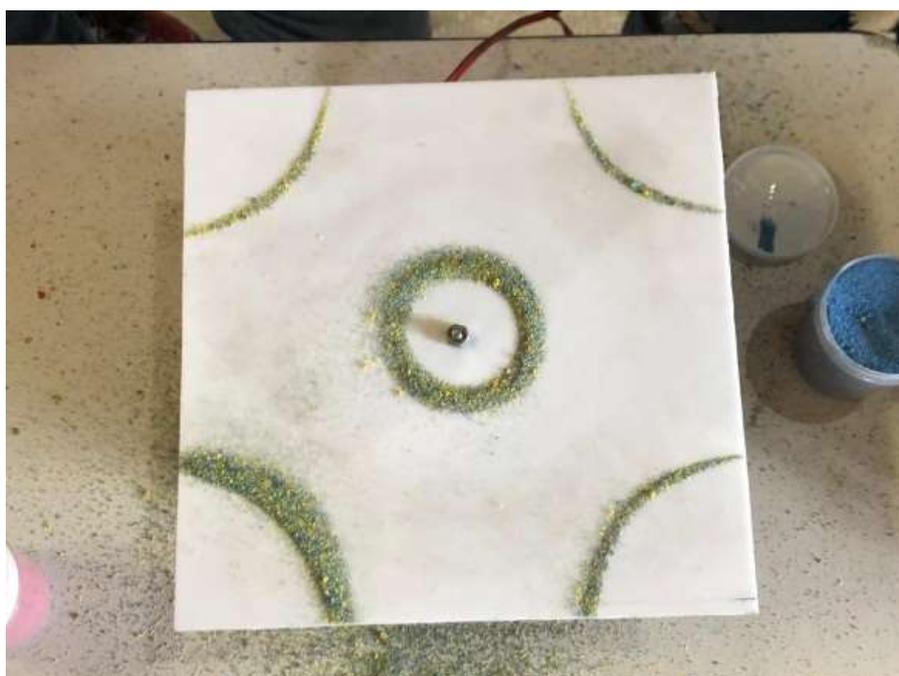


Foto 17 – Figura de Chladni formada em placa quadrada de acrílico.

Aula 06: Reaplicação do questionário de sondagem de aprendizagem

Como último encontro, os alunos foram submetidos a mais um questionário avaliativo, sendo aplicado novamente o primeiro questionário, com a finalidade de sondar se os alunos entenderam os conteúdos abordados neste ciclo de aulas. As fotos 18, 19 e 20 mostram a turma de alunos realizando esta atividade.



Foto 18 – Atividade avaliativa de culminância.



Foto 19 – Turma de alunos realizando a atividade avaliativa de culminância.



Foto 20 – Alunos respondendo novamente o primeiro questionário avaliativo.

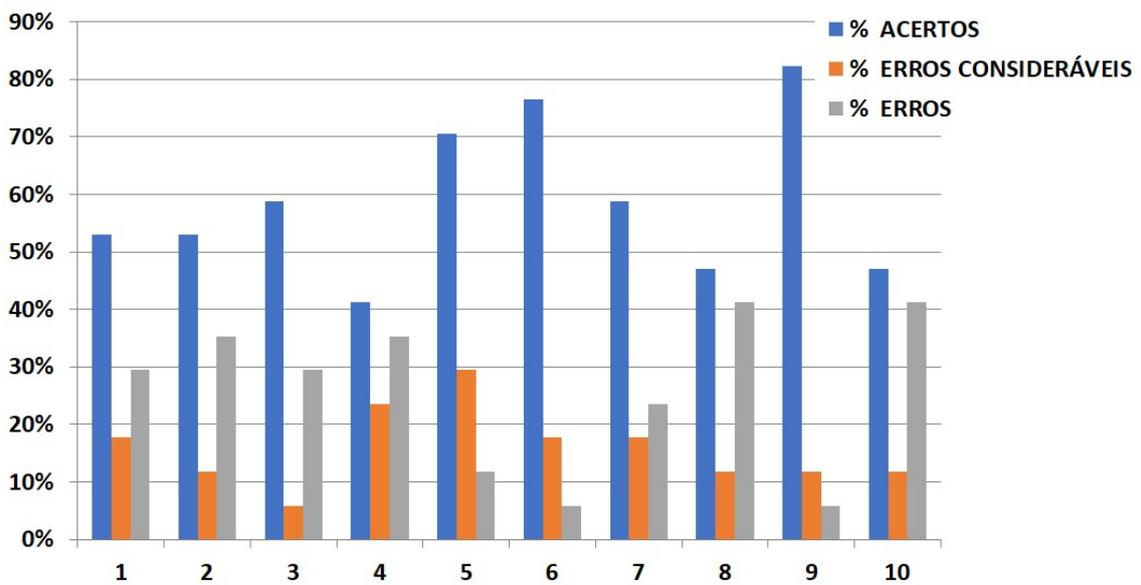


Gráfico 05 - Resultado da reavaliação do primeiro questionário em porcentagem

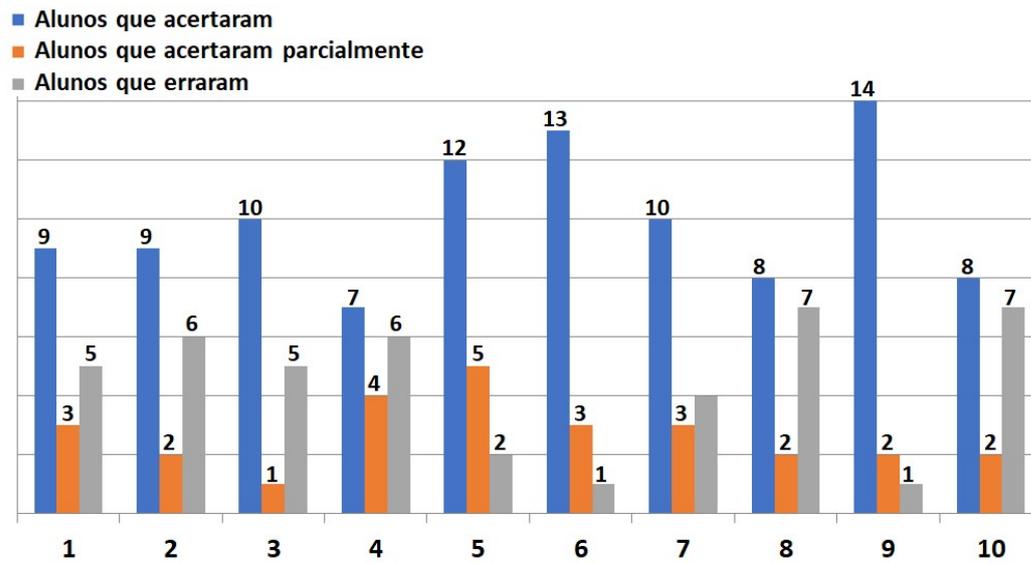


Gráfico 06 - Resultado da reaplicação do primeiro questionário analisado por número de acertos, erros considerados e erros.

Nos gráficos 05 e 06, podemos comparar os resultados com os gráficos 01 e 02, pois, foi realizado a reaplicação do 01 questionário, nesse caso e podemos certificar que quando trabalhamos a aprendizagem significativa levando em consideração as noções prévia dos alunos, resultados aparecem de uma forma mais persuasivo.

8. CONCLUSÕES

Esta Dissertação de mestrado estudou a aplicação das Figuras de Chladni no ensino de conceitos introdutórios de ondulatória e acústica para uma turma de alunos do 9º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública localizada no interior do Estado de Pernambuco.

Este trabalho foi embasado pela Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, a qual prevê que a aprendizagem prévia e a estrutura cognitiva dos alunos devem ser consideradas pelo professor no planejamento e na aplicação da sua aula didática no dia a dia da rotina escolar.

O trabalho apresentado aqui com a aplicação prática do produto desenvolvido na Dissertação de mestrado teve uma grande importância na construção do conhecimento na turma de alunos do ensino fundamental, pois foi possível demonstrar para eles os conceitos básicos de ondulatória e acústica, de forma prática e contextualizada. Com as atividades realizadas em sala de aula, os alunos puderam acompanhar de maneira clara e objetiva os eventos apresentados aqui, de forma que eles puderam associar os conhecimentos físicos adquiridos com sua realidade e aplicá-los ao seu cotidiano.

Foi notório e plausível que os alunos do 9º ano do ensino fundamental aceitaram bem a aplicação deste projeto, cada um dando o melhor de si para que a experiência fosse um sucesso. Foi possível observar nas falas dos alunos quanto o ensino de Física pode ficar mais fácil e divertido quando conduzido dessa forma. Podemos destacar a importância das aulas práticas para motivar e despertar o interesse dos alunos pela aprendizagem da Física.

09. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARFKEN, G. B.; WEBER, H. J. Física Matemática: Métodos Matemáticos para Física e Engenharia. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

AUSUBEL, D. P. Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva. 1ª. ed. [S.l.]: Paralelo Editora, 2000.

BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, Lei nº. 9.394, de 20 de dezembro de 1996.

BUTKOV, E. Física Matemática. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

COMSOL, Tutorial: Vibrating Membranes, 2019. Disponível em: <https://br.comsol.com/model/vibrating-membrane-12587>. Acesso em 05/12/2019.

GEWANDSZNAJDER, Fernando – Projeto Teláris: Ciências Ensino fundamental 9º ano. 2ª edição. Editora Ática. São Paulo, 2015.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. - Fundamentos de Física, volume 2 : gravitação, ondas e termodinâmica, 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

JEWETT, J.; SERWAY, R. Física para cientistas e engenheiros. Oscilações, ondas e termodinâmica. Vol. 2, São Paulo, 2011.

LEISSA, A.W. Vibration of Plates. NASA SP-160, NASA, Washington D.C., 1969.

LOPES, J. B. Aprender e Ensinar Física. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2004.

MASSMANN, H.; FERRER, R. Instrumentos Musicales. Artesania y Ciencia. Editora Dolmen. Chile, 1993.

MOREIRA, M.A; Aprendizagem Significativa – A Teoria de David Ausubel, 2ª edição. São Paulo: Centauro Editora, página 61, 2016.

MOREIRA, M.A; Aprendizagem Significativa – A teoria e texto complementares, 1ª Edição. São Paulo: LF Editorial, páginas 38-39, 2012.

NAMDARI, N.; DEGHAN, A. Natural Frequencies and Mode Shapes for Vibrations of Rectangular and Circular Membranes: A Numerical Study. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, Vol. 3, Issue 2, pp. 30-34, 2018.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de física básica. 5ª. Edição, Editora Edgard Blücher, volume 2, São Paulo, 2014.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. A Física na Formação de Professores do Ensino Fundamental. Editora da UFRGS, 1999.

PCN, Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, 1997. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf> . Acesso em 05/12/2019.

PETRAGLIA, M. S. Figuras Sonoras de Chladni. Instituto OuvirAtivo. Música e Desenvolvimento Humano, 2014. Disponível em:

<https://www.yumpu.com/pt/document/read/25091594/figuras-sonoras-de-chladni-ouvirativo>

Acesso em 05/12/2019.

ROSSING, T. D. Chladni's Law for Vibrating Plates. *American Journal of Physics*. Volume 50, no. 3, 1982.

ROSSING, T. D. *The Science of String Instruments*. Stanford, Editora Spring, pp. 23-24, 2010.

SILVA, Waldecy de Oliveira, Uma sequência de aulas para o estudo de ondas com auxílio das Figuras de Chladni, Universidade Federal de Roraima Pró-reitoria de pesquisa e Pós-graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Visitada no dia 16 de janeiro de 2019. Disponível em:

<http://www1.fisica.org.br/mnpef/uma-sequ%C3%Aancia-de-aulas-para-o-estudo-de-ondas-com-aux%C3%ADlio-das-figuras-de-chladni>

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. Física II: Termodinâmica e Ondas. 14ª edição. Editora Pearson, São Paulo, 2015.