

## **FREVO “VASSOURINHAS” NAS TRILHAS DO SAXOFONE: RELATO DA APLICAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA INVESTIGATIVA PARA O ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE FREQUÊNCIA E ALTURA.**

Arthur Adélio Soares de Santana <sup>1</sup>  
Joel Vieira de Araújo Filho <sup>2</sup>  
Francisco Nairon Monteiro Júnior <sup>3</sup>

### **INTRODUÇÃO**

Desde quando o ser humano se inspirou em construir instrumentos musicais, os aspectos sonoros ou as características dos ruídos tomaram formas físicas. Inaugurou-se uma ecologia sonora com traços positivos (sons agradáveis, música, ambientes sonoros prazerosos), mas também uma ecologia negativa, criadora de ambientes ruidosos, insalubres, característicos da maior parte dos lugares das sociedades modernas. E o que diferencia, basicamente, o som do ruído? Enquanto no ruído temos uma composição de sinais não periódicos, na música temos sinais periódicos. Enquanto no ruído o elemento fundante é um sinal não-periódico, que não possui altura definida, na música, o elemento fundante é a nota musical, a qual possui altura definida, produzindo uma sensação de estabilidade no sistema neurofisiológico da audição humana (ROEDERER, 1998).

A ciência do som nasce da relação do homem com os sons naturais, sendo, portanto, arte e ciência frutos da mesma práxis, sendo, ambas, elementos da cultura. Da ação concreta do homem na sua relação com a natureza, nasce a cultura. Quando falamos de física e música, podemos, a partir desta reflexão, entendê-las como frutos desta práxis homem-mundo, onde o elemento mais fundamental é o da nota musical. A nota musical é o elemento fundante e seria,

---

<sup>1</sup> Graduando do Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, bolsista do Programa de Residência Pedagógica MEC/UFRPE, [arthfísica@gmail.com](mailto:arthfísica@gmail.com);

<sup>2</sup> Doutorando Pela Rede Nordeste de Ensino – RENOEN (polo Universidade Federal Rural de Pernambuco), Professor da EREM Olinto Victor – SEE/PE, [joelvieirafilho30@hotmail.com](mailto:joelvieirafilho30@hotmail.com);

<sup>3</sup> Departamento de Educação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, professor do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física e do doutorado da Rede Nordeste de Ensino – RENOEN, [naironjr67@gmail.com](mailto:naironjr67@gmail.com).

o acrescentamento, criação nascida da ecologia sonora. Na ação concreta do homem, nascem cordas e tubos, capazes de produzir sons musicais. O aparecimento de tais instrumentos foi acompanhado do desenvolvimento da ciência sobre seus funcionamentos. Neste sentido, conceitos como nota musical, duração, frequência, altura, andamento, ritmo, melodia e harmonia fazem sentido quando temos um entendimento de como se projeta, correlacionando esses fenômenos a efeitos intrínsecos da matéria na propagação sonora e audível.

Os alunos têm uma visão da música advinda do mercado, onde as plataformas de venda entregam sons com intuito de atenuar as tensões da rotina, ou apenas levam uma mensagem sobre a sociedade. Contudo, a ideia de como ocorre, como se propaga, é dissolvida por meio dessas informações adicionais. Porém, com a idealização e aplicação do entendimento advindo de uma aula onde o questionamento sobre os aspectos físicos de cada som, como a altura, a frequência, traz ao ser um novo saber. Como diferenciar um cantor de outro cantor? Como sabemos a formação de um conjunto musical? Toda essa funcionalidade advém de um conhecimento prévio sobre o que é o som, e como usar esse som.

Orquestras sinfônicas, bandas da época necessitam desse cuidado para com sua estrutura. Não se pode formar um conjunto musical apenas com instrumentos que tem o mesmo arranjo, ou a mesma “tarefa”. Essa educação sonora advém, boa parte dela, se não a maior parte, do entendimento físico sobre ondas, propagação de ondas audíveis e com isso a educação abrange outros entendimentos, pois é tarefa de um educador trazer ao educando uma nova visão ou a compreensão do mundo. E o que está na base deste maravilhoso e infundo mundo da acústica? O conceito de nota musical.

Com isso o presente artigo apresenta um relato de experiência de como essa ciência pode ser correlacionada ao mundo sonoro, tendo como base uma ferramenta experimental didática para o estudo significativo em várias instâncias. Nesta perspectiva basilar, desenvolvemos uma ação de pesquisa e ensino, juntamente com alunos do ensino médio de uma Escola de Referência de Ensino Médio da Secretaria de Educação e Esportes do Estado de Pernambuco, voltada para a análise dos fundamentos físicos e musicais do conceito de nota musical, cujo objetivo foi o de perceber a evolução no entendimento de tal conceito por parte dos estudantes envolvidos. Para tanto, relacionamos a capacidade de ouvir e de perceber qual tipo de som está sendo transmitido com a aplicação de um objeto de estudo, o instrumento musical. Abordando os fenômenos audíveis com a física do experimento, utilizamos como referencial metodológico o ensino por investigação (CARVALHO, 2013), os dados foram coletados por meio de pré-teste e pós-teste na avaliação da possível evolução do entendimento do conceito de nota musical.

## O CONCEITO DE NOTA MUSICAL: ASPECTOS FÍSICOS E MUSICAIS

Uma nota musical é uma representação simbólica de sons que possuem determinadas características, incluindo altura e duração. A altura de uma nota refere-se à sua posição na escala musical, que sinaliza quão alto ou baixo o som é produzido. Isto é determinado pela frequência das vibrações sonoras: notas mais altas têm frequências mais altas e notas mais baixas têm frequências menores. As notas geralmente são escritas em uma partitura, que é um texto musical que usa símbolos visuais para representar as notas, sua altura, duração e outros detalhes relacionados à interpretação musical.

Uma partitura musical é como um mapa que orienta os músicos durante a execução da música, sinalizando quando, por quanto tempo e com que intensidade cada nota deve ser tocada. Desta forma, uma nota musical é um elemento fundamental da linguagem musical, transmitindo informações essenciais sobre a altura e a duração do som. A notação musical em partituras permite que os músicos transformem essas notas em uma experiência sonora coesa e emocionalmente expressiva.

Na sinfonia harmoniosa que é a linguagem da música, as notas musicais ocupam um papel fundamental. Elas são os blocos de construção sonoros que dão vida às melodias, harmonias e ritmos, que transcendem emoções e contam histórias. Cada unidade sonora é uma peça do quebra-cabeça musical, contribuindo para a criação de um quadro sonoro completo. A altura de uma nota é o seu atributo mais distintivo. Ela define se o som é agudo ou grave, determinado pela frequência das vibrações sonoras. Quanto mais rápida a vibração, ou seja, quanto maior a frequência, mais aguda é a nota; quanto mais lenta, ou seja, quanto menor a frequência, mais grave a nota. Essa diferenciação dá às notas sua identidade única dentro de uma escala musical. As notas, ao serem organizadas em uma sequência, formam melodias que podem ser suaves como um sussurro ou enérgicas como uma explosão.

Podemos representar esses conceitos em partituras, onde em larga escala determina cada voz, passagem, progressão e de forma melódica descreve um solo, onde podem ser incorporadas dinâmicas que sublinham e equalizam cada símbolo musical. A partitura é para música uma leitura, assim como são os livros convencionais. Nesse mapa musical que guia os músicos na interpretação da composição, cada nota é graficamente indicada no pentagrama, uma série de linhas horizontais que atuam como um plano de referência. Símbolos como claves, notas e pausas dão às notas suas durações específicas. Além disso, os detalhes

expressivos, como crescendos e ritardandos, são marcados nas partituras para transmitir a intenção do compositor aos músicos.

As notas, quando combinadas, formam harmonias e melodias complexas. Isso é especialmente evidente na formação de orquestras, onde músicos de diferentes instrumentos unem suas habilidades para criar uma sinfonia única. Além do aspecto artístico, o mercado musical desempenha um papel significativo. A comercialização das notas, por meio de gravações, apresentações ao vivo e transmissões, conecta músicos e ouvintes em todo o mundo. As notas transcendem barreiras linguísticas, culturais e geográficas, tocando os corações das pessoas de maneira universal. Em resumo, as notas musicais são as unidades fundamentais da linguagem musical, dando forma a uma vasta gama de expressões emocionais. Sua combinação em partituras orienta músicos na criação de melodias cativantes e complexas, que ganham vida nas mãos das orquestras e artistas. Combinando arte, técnica e mercado, as notas musicais são verdadeiros mensageiros de emoção e conexão humana.

A nota musical é um conceito intrínseco com as ciências físicas, uma vez que sua essência é compreendida por meio das propriedades da propagação de ondas no meio material. A física do som desempenha um papel crucial na determinação das características fundamentais do som uníssono, como sua altura e timbre.

A altura está diretamente ligada à frequência da onda sonora que ela representa. A frequência é o número de oscilações ou ciclos completos que uma onda sonora realiza por segundo. Quanto mais oscilações ocorrerem em um dado intervalo de tempo, maior será a frequência e, conseqüentemente, mais aguda será a nota musical. Por outro lado, menos oscilações resultarão em uma frequência mais baixa e, assim, em uma nota mais grave. Além disso, a física explica como os instrumentos musicais produzem diferentes alturas de notas. Um instrumento musical gera som quando é perturbado de alguma forma, seja pela vibração de cordas, a excitação do fluido ou a batida de um material vibrante. A frequência natural de vibração desses elementos determina a altura da nota produzida.

Um instrumento de sopro, por exemplo, ao vibrar a palheta (no caso dos instrumentos de boquilha) ou os lábios (no caso dos instrumentos de bocal), a emissão da nota advém justamente dessa movimentação do ar expelido linearmente, que ao passar pelo corpo do instrumento, pelos ressonadores, cavidades, ou orifícios é percebido o ressoar da melodia, dada pela medida de comprimento e pela emissão dessa coluna de ar, de forma geral. A altura aqui nesse contexto é dada pela capacidade do músico de conseguir gerar uma coluna de ar que se adeque à frequência desejada, e com isso os instrumentos fornecem recursos (válvulas,

chaves, posições) que, de forma mecânica, dispõem esses intervalos alternativos. Tais recursos aumentam ou diminuem o comprimento da coluna de ar.

## RELAÇÕES FÍSICAS ENTRE FREQUÊNCIA E ALTURA E AS NOTAS MUSICAIS

Segundo Monteiro Júnior (2012), a música ocidental está baseada na escala de 12 doze notas, numa sequência de 12 semitons igualmente temperados. Nesta escala, as doze notas musicais dividem a oitava numa progressão geométrica na qual o 13º termo (que é a oitava, ou seja, a nota de mesmo nome) possui o dobro da frequência da fundamental (primeira nota). Sabemos que a distinção auditiva em altura entre as notas ocorre pelo fato de que possuem frequências diferentes. O que caracteriza a qualidade de uma nota pura ser “mais alta” ou “mais baixa” é o fato de ela ter maior ou menor frequência. Desta forma, quanto mais aguda uma nota, maior sua frequência e quanto mais grave uma nota, menor sua frequência. Podemos, então, definir o intervalo entre duas notas quaisquer como sendo a razão entre suas frequências. Assim temos  $I = \frac{f_2}{f_1}$ . Por exemplo, o intervalo de quinta justa ocorre quando  $I = \frac{3}{2}$ , o de quarta justa quando  $I = \frac{4}{3}$  e o de oitava, quando  $I = 2$ . Em música, diz-se que quando duas notas estão separadas por um intervalo de oitava, elas são iguais, e, toda escala musical começa e termina na mesma nota musical, separadas por um intervalo de oitava, ou seja, começa com uma nota de frequência  $f$  e termina com a mesma nota, agora com frequência  $2f$ .

Podemos, então, dizer que a estrutura harmônica é baseada nesse padrão de intervalos, conhecido como escala temperada ou escala cromática. A escala cromática possui doze notas. A décima terceira é chamada oitava, a mesma nota musical da primeira, agora com o dobro da frequência, ou seja, a oitava é o intervalo de altura entre duas notas em que uma delas possui o dobro da frequência da outra. Assim, para construirmos a escala cromática, dividimos o intervalo de oitava, o qual inclui 13 notas musicais, numa progressão geométrica de 13 termos (12 intervalos), criando-se, então, doze intervalos iguais em altura, chamados de semitons.

Assim, a frequência de cada nota da escala cromática será  $\sqrt[12]{2}$  vezes maior que a sua anterior, definindo, como dissemos acima, uma progressão de razão igual a  $\sqrt[12]{2}$ . A tabela 1 mostra a escala cromática iniciando-se no ‘Lá’ central do piano ( $A_0$  com  $f=220\text{Hz}$ ) e encerrando-se no Lá de 440 Hz. Observe que são 12 intervalos iguais em altura e não em variação de frequência, uma vez que o intervalo musical é definido como sendo a razão entre

as frequências de duas notas, e não a diferença entre estas frequências, o que subjaz à própria definição da progressão geométrica. É interessante observar que, muito embora a frequência não aumente a mesma quantidade a cada semitom, a percepção desse movimento é de passos iguais em altura.

Tabela 1: escala cromática em Lá.

Nota Musical	Símbolo	Termos da P.G. $(a_n = 220(\sqrt[12]{2})^{n-1})$	Frequência (Hz)	Nome do Intervalo
Lá	A <sub>3</sub>	$a_1 = 220$	220,000	Unísono
Lá sustenido/ Si bemol	A#/Bb <sub>3</sub>	$a_2 = 220(\sqrt[12]{2}) = 233,081880\dots$	233,082	Segunda menor
Si	B <sub>3</sub>	$a_3 = 220(\sqrt[12]{2})^2 = 246,941650\dots$	246,942	Segunda maior
Dó	C <sub>3</sub>	$a_4 = 220(\sqrt[12]{2})^3 = 261,625565\dots$	261,626	Terça menor
Dó sustenido/ Ré bemol	C#/Db <sub>3</sub>	$a_5 = 220(\sqrt[12]{2})^4 = 277,182630\dots$	277,183	Terça maior
Ré	D <sub>3</sub>	$a_6 = 220(\sqrt[12]{2})^5 = 293,664767\dots$	293,665	Quarta justa
Ré sustenido/ Mi bemol	D#/Eb <sub>3</sub>	$a_7 = 220(\sqrt[12]{2})^6 = 311,126983\dots$	311,127	Quarta aumentada/ Quinta diminuta
Mi	E <sub>4</sub>	$a_8 = 220(\sqrt[12]{2})^7 = 329,627556\dots$	329,628	Quinta justa
Fá	F <sub>4</sub>	$a_9 = 220(\sqrt[12]{2})^8 = 349,228231\dots$	349,228	Quinta aumentada/ Sexta menor
Fá sustenido/ Sol bemol	F#/Gb <sub>4</sub>	$a_{10} = 220(\sqrt[12]{2})^9 = 369,994422\dots$	369,994	Sexta maior/ Sétima diminuta
Sol	G <sub>4</sub>	$a_{11} = 220(\sqrt[12]{2})^{10} = 391,995435\dots$	391,995	Sétima menor
Sol sustenido/ Lá bemol	G#/Ab <sub>4</sub>	$a_{12} = 220(\sqrt[12]{2})^{11} = 415,304697\dots$	415,305	Sétima maior
Lá	A <sub>4</sub>	$a_{13} = 220(\sqrt[12]{2})^{12} = 440$	440,000	Oitava

O mesmo cálculo é feito para definir os valores das frequências de todas as outras notas musicais, alcançando toda a extensão dos sons musicais emitidos pelos instrumentos e voz humana. A tabela 2 mostra os valores das frequências das notas musicais em toda a extensão de sete oitavas, três oitavas acima da do lá central (220 Hz) e três abaixo. Observe que quando percorremos uma oitava (qualquer uma das sete colunas) os valores crescem numa progressão geométrica de  $\sqrt[12]{2}$ , enquanto que, quando percorremos os valores das frequências das oitavas de uma mesma nota musical (qualquer uma das treze linhas), constatamos que seus valores vão sempre dobrando, o que define uma progressão geométrica

de oitavas com razão 2. Desta forma, temos que qualquer nota da sétima oitava terá uma frequência 64 vezes maior do que a mesma nota da primeira oitava.

Tabela 2: frequências das notas nas sete oitavas da escala cromática.

NOTA MUSICAL		INTERVALO MUSICAL	OITAVAS (frequências medidas em Hertz)						
			1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª
A	Lá	Unísono	27,500	55,000	110,000	220,000	440,000	880,000	1760,000
A#/Bb	Lá sustenido/ Si bemol	Segunda menor	29,135	58,270	116,541	233,082	466,164	932,328	1864,655
B	Si	Segunda maior	30,868	61,735	123,471	246,942	493,883	987,767	1975,533
C	Dó	Terça menor	32,703	65,406	130,813	261,626	523,251	1046,502	2093,005
C#/Db	Dó sustenido/ Ré bemol	Terça maior	34,648	69,296	138,591	277,183	554,365	1108,731	2217,461
D	Ré	Quarta justa	36,708	73,416	146,832	293,665	587,330	1174,659	2349,318
D#/Eb	Ré sustenido/ Mi bemol	Quarta aumentada ou quinta diminuta	38,891	77,782	155,563	311,127	622,254	1244,508	2489,016
E	Mi	Quinta justa	41,203	82,407	164,814	329,628	659,255	1318,510	2637,020
F	Fá	Quinta aumentada ou sexta menor	43,654	87,307	174,614	349,228	698,456	1396,913	2793,826
F#/Gb	Fá sustenido/ Sol bemol	Sexta maior ou sétima diminuta	46,249	92,499	184,997	369,994	739,989	1479,978	2959,955
G	Sol	Sétima menor	48,999	97,999	195,998	391,995	783,991	1567,982	3135,963
G#/Ab	Sol sustenido/ Lá bemol	Sétima maior	51,913	103,826	207,652	415,305	830,609	1661,219	3322,438
A	Lá	Oitava	55,000	110,000	220,000	440,000	880,000	1760,000	3520,000

Como estabelecido pela própria progressão geométrica, as frequências das notas musicais crescem exponencialmente e, a cada extensão de uma oitava, a frequência dobra. Esse fato é particularmente interessante, pois denota que a variação em frequência cresce do grave para o agudo, muito embora a variação em altura, que é o correlato perceptivo da variação da frequência, permaneça a mesma. Por exemplo, a variação em frequência do semitom A-A#/Bb na primeira oitava da tabela 2 (dois) é 29,135 Hz - 27,500 Hz = 1,635 Hz. Por outro lado, quando consideramos a variação em frequência do mesmo semitom A-A#/Bb, agora na sétima oitava mostrada na citada tabela, constatamos que a variação em frequência passa a ser 1864,655 Hz - 1760,000 Hz = 104,655 Hz. A razão entre as diferenças em frequência nos dois semitons considerados resulta em  $\frac{104,655}{1,635} = 64,009 \text{ Hz}$ . Muito embora a variação do semitom considerado seja 64(sessenta e quatro) vezes maior na sétima oitava, em relação à primeira, a variação em altura permanece a mesma. A faixa de frequências que

abarcas as notas musicais emitidas por instrumentos reais compreende apenas um intervalo da faixa de frequências de uma audição humana normal. Nesta, a nota mais grave que pode ser ouvida é o  $E_0 = 20,6\text{Hz}$  que se situa uma quarta justa abaixo do  $A_0 = 27,5\text{Hz}$ , que é, por sua vez, a nota mais grave do piano. Por outro lado, a nota mais aguda que pode ser ouvida é  $D\#/E_b = 19.912,127\text{ Hz}$ .

## METODOLOGIA

A curiosidade é elemento absolutamente necessário na aprendizagem. Se, historicamente, a curiosidade tem sido o motor do desenvolvimento da cultura enquanto resultado da ação crítica homem-mundo, na sala de aula pode inaugurar um processo que tem sido natural. A curiosidade é importante ponto de partida para processos de problematização do ser no mundo. É nesse sentido que o ensino por investigação joga papel importante, pois valoriza o protagonismo e a curiosidade na sala de aula.

Segundo Araújo Filho (2018), a “sequência de ensino por investigação” (SEI) organiza a aula a partir do tópico a ser ensinado, criando um ambiente investigativo e propício para que os alunos construam seus próprios conhecimentos. Os requisitos básicos que fundamentam uma SEI são a “questão de pesquisa”, que pode ser apresentada aos estudantes pelo professor ou surgir dos próprios estudantes, as “hipóteses”, considerando as ideias prévias dos alunos acerca do problema, a “elaboração do plano de trabalho” de como se fará a investigação para confirmar ou não as hipóteses, a “obtenção dos dados” na análise experimental e a “conclusão”, que será o relatório final do grupo, confirmando ou refutando a hipótese investigada, a ser socializado no debate. O grau de autonomia dado aos alunos na condução da SEI dependerá do amadurecimento da turma. Como mostrado na tabela 3, há cinco graus de liberdade relacionando a atuação do professor (P) e a dos alunos (A).

Tabela 3: Graus de liberdade professor/aluno na aula investigativa.

GRAU	I	II	III	IV	V
Problema	P	P	P	P	A/P
Hipótese	P	P/A	P/A	P/A	A
Plano de trabalho	P	P/A	A/P	A	A
Obtenção dos dados	P	A/P	A	A	A
Conclusão	P	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Classe	A/P/Sociedade

Fonte: Carvalho, 2013.



No grau I não existe uma atividade investigativa. As cinco etapas são elaboradas pelo professor, como acontece tradicionalmente. A partir do grau II é possível ver autonomia do aluno na obtenção dos dados e na conclusão. O problema é proposto pelo professor, que orienta a formulação da hipótese e o plano de trabalho. Os níveis III e IV propiciam uma maior independência dos alunos, com o professor apenas propondo o problema. O grau V é típico de cursos de pesquisa universitária, com os alunos pensando o problema e sua solução, que é dividida com a comunidade. A seguir apresentamos um resumo da nossa SEI Significativa, com a qual conseguimos alcançar o terceiro nível de autonomia mostrado na tabela 1.

### **1º encontro: 2 horas/aula**

1. Problematização: no primeiro momento, o mediador apresentará o instrumento, identificando sua família, seus princípios de funcionamento, mostrando suas chaves e como as notas são produzidas, apresentando, inclusive, um pouco da história do instrumento, dando particular ênfase à sua importante função no frevo pernambucano, evidenciando as notas tocadas na melodia do frevo “vassourinhas”. Neste momento, problematizará a relação entre altura e frequência com a seguinte questão: o que está se modificando quando eu toco diferentes notas no sax?
2. Construção de hipóteses: dividir a turma em grupos e deixá-los encontrar hipóteses de resolução da problematização inicial, na qual está em jogo a importante relação entre altura (conceito da música) e frequência (conceito da física), discutida na seção “Relações físicas entre frequência e altura e as notas musicais”, apresentada acima.
3. Aprendendo a usar o aplicativo “gStrings”: o mediador pedirá que um aluno de cada grupo instale o aplicativo no smartphone. Na sequência, fará uma explanação sobre as principais funções do aplicativo, evidenciando as medições da frequência e identificação da nota musical.
4. Obtenção de dados (uso do aplicativo medidor de frequência): após explicação do professor sobre o funcionamento do “gStrings”, cada grupo, separadamente, fará a medição e identificação das notas musicais quando uma oitava completa é tocada no saxofone, uma nota de cada vez. Os dados serão anotados numa tabela, como a seguir:

NOTA	SÍMBOLO	FREQUÊNCIA




Após este momento, cada grupo debaterá sobre possíveis relações entre as frequências das notas musicais que compõem a oitava, na busca de relações matemáticas e dados para a possível resolução das hipóteses levantadas no debate entre os componentes de cada grupo. Poderão ser debatidas entre o grupo conclusões prévias da análise dos dados obtidos.

**2º encontro: 2 horas/aula, divididas da seguinte maneira:**

5. Conclusão e comunicação: cada grupo apresentará suas conclusões e a resposta para a questão inicial (o que está se modificando quando eu toco diferentes notas no sax?). Na sequência, os grupos debaterão entre si. Caso os alunos não cheguem à relação matemática da progressão geométrica que define os intervalos entre as notas musicais, o mediador poderá dar sequência, apresentando o citado tratamento matemático.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A aplicação foi executada com slides, compostos por vídeos e tópicos com imagens, ilustrando algumas ideias que iriam ser discutidas. Junto com o orientador e o professor supervisor da escola, iniciamos com indagações e informações acerca dos assuntos.

Fora mostrado questões em música, como definições e exemplos, famílias dos instrumentos musicais de sopro, categorizados em torno do tipo de embocadura, alinhados, sempre, com a metodologia do ensino por investigação delineada acima, valorizando, sempre que possível, os conhecimentos dos alunos acerca do problema, e o introdutor orientando as ideias de acordo com a fundamentação pré-determinada. Ao apresentar os exemplos com imagens e demais vídeos, outras questões foram levantadas como ideias referentes à frequência e altura, e então demos início à aplicação do experimento envolvendo os instrumentos musicais.

As apresentações em slides consistiram em contextualizar a história da música, assim como os variados tipos de instrumentos musicais. Em particular, abordamos as origens do saxofone, da flauta e os princípios do seus mecanismos, para então entenderem como é produzido o som num instrumento musical.

Foram apresentados vídeos de orquestras de frevo (estilo de música formada por um grupo orquestral característico cultural da região) onde fora uma vertente para intercalar assuntos como frequência, altura e formação dos naipes (conjunto de instrumentos de sopro) que compõem uma orquestra/banda. Na sequência, aplicamos, então, o experimento em sala com dois saxofones, um tenor e um alto (diferem-se em suas armações tonais) com medições da frequência das notas musicais produzidas por estes dois instrumentos, utilizando um software frequencímetro que foi pedido que os alunos instalassem em seus celulares, momento em que mostramos a formação das notas e sua execução numa partitura disponível na internet.

Com o sax alto, executei uma parte de uma escala e com o sax tenor executei a mesma escala (A escala foi de Si maior). Como havíamos pedido para todos instalarem o aplicativo “GStrings” (afinador de frequência musical), eles puderam notar as diferenças entre as frequências dos dois instrumentos, mesmo soando as mesmas notas.

Na sequência, executei, na mesma tonalidade, uma parte do frevo Vassourinhas do maestro Matias da Rocha nos dois instrumentos, mais uma vez enfatizando a visualização do som no afinador e considerando a explicação sobre as diferenças auditivas dos dois instrumentos a partir de uma introdução do conceito de frequência, relacionando a variação de altura à progressão geométrica de 12 intervalos igualmente espaçados (escala temperada), discutida acima.

Ao finalizar a discussão teórica, executei a escala de C (Dó) maior no saxofone alto, e pedi para que percebessem as variações entre as notas, e do mesmo jeito no saxofone tenor. No intuito de relacionar a percepção com as medidas dos afinadores em diferentes notas executadas, foi proposto uma medição da escala cromática para que, matematicamente, pudessem escrever o que ouviram experimentalmente.

Tomado a questão da transposição do instrumento a partir do software que tem por padrão instrumentos em diapasão, o cuidado com a transposição foi realizado experimentalmente, corrigindo a nota para então estar de acordo com o executado no instrumento.

A progressão Geométrica fora feita a partir do parâmetro da  $\sqrt[12]{2} = 1,059463$ , que vem da diferença entre uma nota e seu semitom ( $a_n = a_1 \times q^{n-1}$ ). Tomando o A (lá) de 110 Hz e o A# (Lá sustenido) de 117,4 Hz, esse parâmetro experimental é aproximadamente de 1,066 Hz.

Os alunos tiveram que responder algumas questões:

1. Há relação matemática entre as notas em um mesmo instrumento?

2. Há alguma relação entre os dois instrumentos?
3. Qual a relação entre frequência e altura?

As questões foram respondidas a partir dos princípios que obtiveram nas análises tomadas experimentalmente. Os problemas foram propostos, os cálculos da P.G foram demonstrados e a análise dos dados. Contudo, a conclusão dos resultados vieram de suas interpretações.

Neste momento, os alunos, divididos em grupos, fizeram a medição das frequências das notas musicais emitidas pelo saxofone, preencheram a tabela e compararam o valor tomado experimentalmente com o valor previsto pela teoria, chegando às suas conclusões. As imagens a seguir mostram os cálculos dos cinco grupos, bem como suas respostas, as quais sugerem a relação entre frequência e altura, e como o som é propagado, assim como um comentário em vídeo que foi transcrito pelos próprios alunos, uma vez que no momento pedagógico de conclusão e comunicação, os comentários dos alunos foram filmados.

## HIPÓTESE DO GRUPO:

① Existe porque os números são utilizados para medir a intensidade do som.

② Sim.

C	VARIAÇÃO DE NOTA POR SEMI TOM
C#	$a_1 = 259,2$
D	$a_2 = 274,5$
D#	$a_3 = 290,7$
E	$a_4 = 307,0$
F	$a_5 = 326,1$
F#	$a_6 = 345,21$
G	$a_7 = 365,6$
G#	$a_8 = 387,2$
A	$a_9 = 409,22$
A#	$a_{10} = 432,0$
B	$a_{11} = 456,0$
B#	$a_{12} = 481,6$
C	$a_{13} = 509,0$
C#	$a_{14} = 538,0$
D	$a_{15} = 569,0$
D#	$a_{16} = 602,0$
E	$a_{17} = 638,0$
F	$a_{18} = 677,0$
F#	$a_{19} = 719,0$
G	$a_{20} = 764,0$
G#	$a_{21} = 812,0$
A	$a_{22} = 864,0$
A#	$a_{23} = 919,0$
B	$a_{24} = 978,0$
B#	$a_{25} = 1041,0$
C	$a_{26} = 1108,0$
C#	$a_{27} = 1180,0$
D	$a_{28} = 1258,0$
D#	$a_{29} = 1342,0$
E	$a_{30} = 1433,0$
F	$a_{31} = 1531,0$
F#	$a_{32} = 1637,0$
G	$a_{33} = 1751,0$
G#	$a_{34} = 1874,0$
A	$a_{35} = 1906,0$
A#	$a_{36} = 2000,0$
B	$a_{37} = 2108,0$
B#	$a_{38} = 2231,0$
C	$a_{39} = 2360,0$
C#	$a_{40} = 2505,0$
D	$a_{41} = 2667,0$
D#	$a_{42} = 2846,0$
E	$a_{43} = 3044,0$
F	$a_{44} = 3262,0$
F#	$a_{45} = 3501,0$
G	$a_{46} = 3762,0$
G#	$a_{47} = 4046,0$
A	$a_{48} = 4364,0$
A#	$a_{49} = 4718,0$
B	$a_{50} = 5119,0$
B#	$a_{51} = 5569,0$
C	$a_{52} = 6071,0$
C#	$a_{53} = 6637,0$
D	$a_{54} = 7270,0$
D#	$a_{55} = 7974,0$
E	$a_{56} = 8754,0$
F	$a_{57} = 9616,0$
F#	$a_{58} = 10575,0$
G	$a_{59} = 11648,0$
G#	$a_{60} = 12842,0$
A	$a_{61} = 14164,0$
A#	$a_{62} = 15624,0$
B	$a_{63} = 17234,0$
B#	$a_{64} = 19008,0$
C	$a_{65} = 21054,0$
C#	$a_{66} = 23392,0$
D	$a_{67} = 26044,0$
D#	$a_{68} = 29034,0$
E	$a_{69} = 32488,0$
F	$a_{70} = 36440,0$
F#	$a_{71} = 40936,0$
G	$a_{72} = 46012,0$
G#	$a_{73} = 51724,0$
A	$a_{74} = 58140,0$
A#	$a_{75} = 65340,0$
B	$a_{76} = 73400,0$
B#	$a_{77} = 82400,0$
C	$a_{78} = 92440,0$
C#	$a_{79} = 103600,0$
D	$a_{80} = 116000,0$
D#	$a_{81} = 130800,0$
E	$a_{82} = 148000,0$
F	$a_{83} = 167800,0$
F#	$a_{84} = 190400,0$
G	$a_{85} = 216000,0$
G#	$a_{86} = 244800,0$
A	$a_{87} = 277200,0$
A#	$a_{88} = 313600,0$
B	$a_{89} = 354400,0$
B#	$a_{90} = 400000,0$

③ A altura e a frequência são basicamente a mesma coisa. A altura se percebe ouvindo e a frequência necessita de um afinador, para dizer o nº.

① Há relação matemática entre as notas em um mesmo instrumento?  
Se sim, qual?

② Há alguma relação entre os dois instrumentos?

GRUPO:

19/09/2023

Mayara [redacted]

Leticia [redacted]

Mathew [redacted] 2: "A"

EREM OLINTO VICTOR



NOTA	NOME	SÍMBOLO	ALTO   TENOR		FREQUÊNCIA (Hz)
			alto	tenor	
1ª	Do	C	154.2	115.5	H <sub>2</sub>
2ª	Do sustenido	C#	161.4	122.5	H <sub>2</sub>
3ª	Re	D	173.0	130.1	H <sub>2</sub>
4ª	Re sustenido	D#	183.1	137.2	H <sub>2</sub>
5ª	Mi	E	195.3	147.2	H <sub>2</sub>
6ª	Fa	F	206.2	154.5	H <sub>2</sub>
7ª	Fa sustenido	F#	220.2	164.9	H <sub>2</sub>
8ª	Sol	G	231.6	175.0	H <sub>2</sub>
9ª	Sol sustenido	G#	247.2	185.6	H <sub>2</sub>
10ª	La	A	260.4	195.8	H <sub>2</sub>
11ª	La sustenido	A#	275.5	208.4	H <sub>2</sub>
12ª	Si	B	293.5	221.2	H <sub>2</sub>
13ª	Do	C	313.2	234.4	H <sub>2</sub>

19/09/2023

GRUPO:

Rickelme [REDACTED]

Dianely [REDACTED]

Sax Alto

NOTA	NOME	SÍMBOLO	FREQUÊNCIA (Hz)	SAX TENOR
1ª	Dó	(C)	159.4 Hz	136.3 Hz
2ª	Dó sustentado	(C#)	164.5 Hz	141.9 Hz
3ª	Ré	(D)	173.7 Hz	149.6 Hz
4ª	Ré sustentado	(D#)	183.4 Hz	157.1 Hz
5ª	Mí	(E)	195.8 Hz	166.9 Hz
6ª	Fá	(F)	206.6 Hz	174.8 Hz
7ª	Fá sustentado	(F#)	220.3 Hz	185.6 Hz
8ª	Sol	(G)	232.2 Hz	197.7 Hz
9ª	Sol sustentado	(G#)	246.8 Hz	205.7 Hz
10ª	Lá	(A)	259.1 Hz	216.0 Hz
11ª	Lá sustentado	(A#)	277.6 Hz	208.6 Hz
12ª	Sí	(B)	293.4 Hz	225.2 Hz
13ª	Dó	(C)	313.6 Hz	233.6 Hz

## HIPÓTESE DO GRUPO:

1) Sim. Tem diferença de frequência, e diferença nos tons, tem umas que é mais altas e outras que são mais baixas. Quando agente observa os ritmos musicais, por exemplo, o tempo e o seus discretos, que são conceitos matemáticos. Frequências, sons e timbres também possuem raízes matemáticas e estão presentes na música, bem como os compassos, que são o tempo que se repete.

2) O sax alto é mais afinado por isso as frequências são mais altas, já o sax tenor é mais acima do si, soprano, por isso as frequências são mais baixas que a do sax alto.

3) Qual foi a relação de frequência e altura? São basicamente a mesma coisa. Mas frequência é perceptível matematicamente, altura é mais perceptível auditivamente.



# FÍSICA

$$a_2 = 259,2 \cdot (1,05946) = 274,612032$$

$$a_2 = 275,3$$

$$a_1 = 275,3 \left( \sqrt[12]{2} \right)^{(2-1)}$$

$$a_2 = 275,3 \cdot (1,05946) = 291,669338$$

$$a_3 = 290,8$$

$$a_1 = 290,8 \left( \sqrt[12]{2} \right)^{(2-1)}$$

$$a_3 = 290,8 \cdot (1,05946) = 308,090968$$

$$a_4 = 308,2$$

$$a_1 = 30,8 \left( \sqrt[12]{2} \right)^{(2-1)}$$

$$a_4 = 308,2 \cdot (1,05946) = 326,31368$$

$$a_5 = 326,8$$

$$a_1 = 326,8 \left( \sqrt[12]{2} \right)^{(2-1)}$$

$$a_5 = 326,8 \cdot (1,05946) = 346,231528$$

$$a_6 = 349,1$$

$$a_1 = 349,1 \left( \sqrt[12]{2} \right)^{(2-1)}$$

$$a_6 = 349,1 \cdot (1,05946) = 369,857486$$

S T Q Q S S D  
L W M J V S D  
SEMANA

1 1

$$a_7 = 367,3$$

$$a_1 = \frac{367,3 \cdot (\sqrt[12]{2})^{(2-1)}}{a_1}$$

$$a_7 = 367,3 \cdot (1,05946) = 389,139658$$

$$a_8 = 392,3$$

$$a_1 = 392,3 \cdot (\sqrt[12]{2})^{(2-1)}$$

$$a_8 = 392,3 \cdot (1,05946) = 415,626258$$

$$a_9 = 413,7$$

$$a_1 = 413,7 \cdot (\sqrt[12]{2})^{(2-1)}$$

$$a_9 = 413,7 \cdot (1,05946) = 438,298602$$

$$a_{10} = 440,0$$

$$a_1 = 440,0 \cdot (\sqrt[12]{2})^{(2-1)}$$

$$a_{10} = 440,0 \cdot (1,05946) = 466,1624$$

$$a_{11} = 459,3$$

$$a_1 = 459,3 \cdot (\sqrt[12]{2})^{(2-1)}$$

$$a_{11} = 459,3 \cdot (1,05946) = 486,609978$$

GRUPO:

Gianna [redacted]

Lacynna [redacted]

Maria [redacted]

Maria [redacted]

Rayla [redacted]

Nicolas [redacted]

	NOTA	NOME	SÍMBOLO	FREQUÊNCIA (Hz)
259,2	1ª	DO <sup>-</sup>	C	155,4/112,5
274,612032	2ª	DO <sup>+</sup>	Sustenido (C#)	164,6/121,2
290,940463422	3ª	RE <sup>-</sup>	D	172/129,4
308,2327833771	4ª	RE <sup>+</sup> sustenido	D#	183/136,9
326,56122089798	5ª	MI	E	194/147,9
345,9854375820	6ª	FA <sup>+</sup> sustenido	F#	223/169,0
366,5577317006	7ª	FA	F	220/154,0
388,3532542758	8ª	SOL	G	232/175,0
411,4473893586	9ª	SOL sustenido	G#	246/185,9
435,9022431129	10ª	LA <sup>-</sup>	A	260/194,4
461,8284061089	11ª	LA <sup>+</sup> sustenido	A#	274/208,0
489,2887231157	12ª	SI	B	282/220,7
518,381831286	13ª	DO <sup>-</sup>	C	313,8/233,8

Saxo Alto

## HIPÓTESE DO GRUPO:

1- Sim, aumento de uma nota para a outra  
foi mantido em torno de 10/15 hz

2- A frequência do Tenor sempre será  
mais baixa comparada com o Saxo alto.

3- Quase o mesmo porém frequência  
tem como perceber melhor matemática  
e altura visivelmente.

GRUPO:

Kauque T

Josué

José

	NOTA	NOME	SÍMBOLO	Sax Alto FREQUÊNCIA (Hz)	Sax Tenor FREQUÊNCIA (Hz)
9,4	1ª	Dó	C	155.1 hz	116.3 hz
8,9	2ª	Dó Sustentido	C#	164.5 hz	121.2 hz
9,3	3ª	Ré	D	173.4 hz	130.1 hz
13,4	4ª	Ré Sustentido	D#	182.7 hz	136.9 hz
10,6	5ª	Mi	E	196.1 hz	146.9 hz
13,8	6ª	Fá	F	206.7 hz	154.4 hz
11,7	7ª	Fá Sustentido	F#	220.5 hz	169.8 hz
14,8	8ª	Sol	G	232.2 hz	175.0 hz
13,3	9ª	Sol Sustentido	G#	246.8 hz	185.6 hz
15,5	10ª	Lá	A	260.1 hz	196.1 hz
17,7	11ª	Lá Sustentido	A#	275.6 hz	208.1 hz
21,2	12ª	Si	B	293.3 hz	221.6 hz
	13ª	Dó	C	314.5 hz	233.9 hz

HIPÓTESE DO GRUPO:

$$a_1 = 259,2$$

$$a_n = a_1 \left(\sqrt[12]{2}\right)^{(n-1)} = 259,2$$

$$a_2 = a_1 (1,05946)^{(2-1)} = 274,5$$

$$a_3 = 259,2 (1,05946)^{(3)} = 290,6$$

$$a_4 = 326,8 (1,05946)^{(4)} = 388,6$$

Fragrância é equivalente a água. Porém água é o que usamos  
 muito. Então Fragrância é uma parte mais técnica, e mais  
 precisa, mais utilizada nos cálculos.

$$a_n = a_1 \left(\sqrt[12]{2}\right)^{(n-1)}$$

$$A_2 = 259,2$$

$$L.A. = 259,2 (1,05946) =$$

GRUPO:

Stallyn [Redacted]

Caia [Redacted]

- $a_1 = 259,2 (1,059)^1 = 259,2$
- $a_2 = 259,2 (1,059)^2 = 274,5$
- $a_3 = 259,2 (1,059)^3 = 290,8$
- $a_4 = 259,2 (1,059)^4 = 308,2$
- $a_5 = 259,2 (1,059)^5 = 326,8$
- $a_6 = 259,2 (1,059)^6 = 346,5$
- $a_7 = 259,2 (1,059)^7 = 367,3$
- $a_8 = 259,2 (1,059)^8 = 389,3$
- $a_9 = 259,2 (1,059)^9 = 413,7$
- $a_{10} = 259,2 (1,059)^{10} = 440,0$
- $a_{11} = 259,2 (1,059)^{11} = 459,3$
- $a_{12} = 259,2 (1,059)^{12} = 490,0$
- $a_{13} = 259,2 (1,059)^{13} = 520,2$

	NOTA	NOME	SÍMBOLO	FREQUÊNCIA (Hz)	Sax alto	Sax Tenor
164	1ª	Do	(c)	259,2 Hz		115,8 Hz
15,5	2ª	Do Sustenido	C#	275,3 Hz		121,9 Hz
17,4	3ª	Re	D	290,8 Hz		129,1 Hz
12,6	4ª	Re Sustenido	D#	308,2 Hz		136,9 Hz
22,3	5ª	Mi	E	326,8 Hz		147,0 Hz
18,2	6ª	Fa	F	346,5 Hz		154,0 Hz
25,0	7ª	Fa Sustenido	F#	367,3 Hz		166,0 Hz
21,7	8ª	Sol	G	389,3 Hz		175,0 Hz
20,7	9ª	Sol Sustenido	G#	413,7 Hz		185,3 Hz
19,3	10ª	La	A	440,0 Hz		196,1 Hz
30,7	11ª	La Sustenido	A#	459,3 Hz		207,4 Hz
30,2	12ª	Si	B	490,0 Hz		220,9 Hz
	13ª	Do	C	520,2 Hz		234,1 Hz

### HIPÓTESE DO GRUPO:

O que diferencia o som dos instrumentos que tocam a mesma nota é justamente o harmônico, por causa dos diferentes tipos de saxofones o saxofone tenor é afinado em si bemol já o Alto em Mi bemol, as diferenças das afinações e de tamanho fazem com que o som de cada instrumento seja específico, eles tem uma similaridade mas são diferentes.

O som que sai do sax alto é mais agudo, tendo uma frequência maior do que a do sax tenor, que tem um som mais grave.

\* Conforme vai mudando a escala na ordem cronológica, a frequência vai aumentando de mais grave para o agudo.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O percurso de ensino e pesquisa trilhado foi de grande ajuda e serviu de incentivo para a comunidade escolar perceber que as múltiplas relações existentes entre ciência, tecnologia e cultura, as quais necessitam de uma atenção maior por parte de coordenadores de ensino e professores, inclusive em seus aspectos físicos científicos, pois a contribuição do estudo do



som leva o aluno a ter um campo amplo de possibilidades de estudo e pesquisa satisfatórias para sua carreira.

Acerca das hipóteses levantadas pelos grupos, percebemos algumas inconformidades em conseguirem transcrever o que ouviram, como, por exemplo, entender o que é a nota musical, o que seria transposição musical, que foram temas abordados de maneira resumida, pois era preciso de um tempo adequado para a formação de conceitos musicais, mas o necessário como de qual é a nota tocada, ou de como o som se propaga, qual nota estava certa ao executar (por conta da transposição entre os instrumentos) foi esclarecido e exemplificado em sala. As dúvidas mais recorrentes dos alunos sempre consistem em relacionar altura com volume, ou frequência com o som reproduzido, pois visualmente tinham uma resposta no afinador do relato sonoro, mas confundiam em determinar as nomenclaturas corretamente.

Correlacionaram o som alto com o agudo, e isso ajudou na fomentação do conhecimento a partir da experiência ouvida, que seguia de um som agudo porém, com volume baixo. A contradição do percebido com a hipótese feita determinou a quebra do conhecimento preestabelecido, que agora possuem a capacidade de reconhecer altura, frequência e volume ao toque de um som qualquer. Neste particular, percebemos que a atividade desenvolvida gerou aprendizagem significativa na correta relação entre frequência e altura, bem como entre intensidade sonora e volume.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO FILHO, J. V. **Sequência de ensino por investigação significativa no estudo das relações entre física e música em atividades experimentais envolvendo o oscilador de Melde**. 2018. 101f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Recife.

CARVALHO, A. M. P. **Ensino de ciências por investigação**: condições para implementação em sala de aula. 1ED. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

MONTEIRO JÚNIOR, F. N. **Educação sonora**: encontro entre ciências, tecnologia e cultura. 2012. 315f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru/SP.

ROEDERER, J. **Introdução à física e psicofísica da música**. São Paulo: EDUSP, 1998. ISBN-10: 85-314-0457-6.