



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – ICEN
FACULDADE DE FÍSICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA-LICENCIATURA

SARA MACHADO DE SOUZA

A FÍSICA NA FLAUTA DOCE

BELÉM – PARÁ
2014

SARA MACHADO DE SOUZA

A FÍSICA NA FLAUTA DOCE

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Física – Licenciatura da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciatura em Física.

Orientador: Professor Dr. Rubens Silva.

BELÉM – PARÁ
2014

SARA MACHADO DE SOUZA

Monografia apresentada como pré – requisito para obtenção do título de Licenciada Plena em Física pela Faculdade de Física do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará, submetida à apreciação da banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Orientador:

Prof. Dr. Rubens Silva
(FACFIS – ICEN - UFPA).

Examinador 1:

Prof. MSc. José Luiz Lopes
(FACFIS – ICEN - UFPA).

Examinador 2:

Prof. Dr. Luis Carlos Bassalo Crispino
(FACFIS – ICEN - UFPA).

Examinador 3:

Prof. Dra. Maria Lúcia de Moraes Costa
(ITEC - UFPA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido a vida e o privilégio de chegar até o término deste curso, sem a ajuda Dele nada disso seria possível. Aos meus familiares, em especial minha mãe Nalva Santina de Souza e meu pai Ciro Machado de Souza, por fazer de cada conquista minha uma vitória deles. Aos meus irmãos queridos e amados Lídia Machado da Silva (juntamente com seu esposo Igor dos Santos Sousa da Silva) e Silas Machado de Souza, pelas orações e palavras de incentivo. Ao meu esposo Lauro Alcides Cordeiro Neto, por todo carinho, amor, dedicação, respeito, confiança, amizade e muita felicidade, por compreender minha ausência em detrimento deste trabalho e por estar ao meu lado em todos os momentos em que mais precisei e a minha sobrinha Anna Luíza Machado da Silva, motivo de inspiração e amor.

Ao professor Dr. Rubens Silva pelas críticas imprescindíveis à minha formação. Ao professor Me. José Luiz Lopez por toda paciência, carinho e dedicação com que me dispôs no decorrer dessa caminhada, por suas sugestões de apresentação, seu apoio, suas ideias e principalmente sua amizade. Ao professor Dr. Luis Carlos Bassalo Crispino pelas críticas construtivas feitas ao trabalho: “A Física na flauta doce” apresentado na disciplina: “Técnica de Preparação de Trabalho Científico”, UFPA - 2º semestre de 2014, que deu origem a esta monografia e por ensinar-me o significado das palavras *profissionalismo e dedicação*.

Aos amigos de curso e percurso, em especial Raquel Ferreira Veloso e Antônio Bruno Paixão de Andrade, que fizeram parte da minha vida acadêmica e se tornaram bem mais que amigos, verdadeiros irmãos, sem os quais os obstáculos teriam se agigantado.

“Nós escutamos uma canção na flauta com mais prazer do que na lira, pois o canto da voz humana e a flauta se misturam bem por causa das suas correspondências e simpatias, um e o outro se animam pelo vento”. [1]

Aristóteles

RESUMO

Temos a percepção de que o estudo da Física requer, em diversos momentos, grandes atos de abstração por parte dos alunos para que haja a real compreensão do fenômeno estudado. Acreditamos que a abordagem de tais fenômenos aliados a fatores diversificados como: Música e Ciência possam ser vistos como uma maneira de contextualizar o conteúdo e despertar o interesse dos estudantes para seu estudo, quando com criatividade oferecemos uma nova proposta de aprendizado da disciplina que lhes é ensinada. Nesta monografia discutiremos as propriedades das ondas sonoras dentro do tubo da flauta doce, as ondas estacionárias em tubos aberto-fechado e seus respectivos modos de vibração, bem como a relação entre as notas musicais da flauta doce e a frequência que cada uma delas emite.

Palavras-chave: Física e música, flauta doce, equações e notas musicais.

ABSTRACT

We have the perception that the study of physics requires, at various times, great acts of abstraction by the students so there is a real understanding of the phenomenon taught. We believe that the approach of such phenomena allied to diverse factors such as music and science can be seen as a way to contextualize content and arouse the interest of students for their study, when creatively we offer you a new proposal for learning the discipline that they are taught. This monograph will discuss the properties of sound waves inside the flute tube, standing waves in open closed tubes and their modes of vibration, as well as the relationship between the musical notes of the recorder and the frequency that each emits.

Keywords: Physics and music, flute, musical notes and equations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Calíope, considerada a musa da poesia e da sabedoria.....	14
Figura 2. Clio, a musa dos feitos históricos e da criatividade.....	14
Figura 3. Érato, considerada a musa da poesia romântica.....	15
Figura 4. Euterpe, musa da música e da alegria.....	15
Figura 5. Melpômene, musa do teatro e das encenações.....	15
Figura 6. Polímnia, musa da agricultura e da fertilidade.....	15
Figura 7. Terpsícore, musa da dança sensual	16
Figura 8. Tália, musa da comédia e das celebrações.....	16
Figura 9. Urânia, musa da astronomia e da astrologia.....	16
Figura 10. Movimento harmônico simples de um corpo oscilante.....	18
Figura 11. Movimento ondulatório provocado por uma força em uma corda.....	19
Figura 12. Composição de cristas e vales formados em uma corda.....	20
Figura 13. Repetição da propagação de um pulso de onda relacionado com o ciclo trigonométrico na função seno.....	20
Figura 14. Oscilação de um ponto P ao longo de uma corda.....	21
Figura 15. Interferência atuante em dois pulsos de ondas	23
Figura 16. Interferência construtiva e destrutiva entre dois pulsos de ondas.....	23
Figura 17. Representação de uma onda estacionária com disposição de ventres e nós.....	24
Figura 18. Harmônico fundamental de uma onda estacionária.....	24
Figura 19. Relação entre o comprimento de uma corda e seus harmônicos correspondentes.....	25
Figura 20. Representação esquemática do pavilhão auditivo.....	26
Figura 21. Representação esquemática das teclas de um piano com suas respectivas notas musicais.....	31
Figura 22. Escala cromática das teclas de um piano.....	32
Figura 23. Forma da onda de um violino e um piano a 440 Hz de frequência.....	34
Figura 24. Subdivisão da flauta doce em: cabeça, corpo e pé.....	35
Figura 25. Uma das primeiras flautas doce feitas com ossos de animais.....	35
Figura 26. Flauta doce de cerâmica.....	35
Figura 27. Representação do posicionamento dos dedos para segurar a flauta doce.....	36
Figura 28. Representação esquemática dos orifícios da flauta doce.....	38
Figura 29. Dedilhado da nota musical “si”, da escala natural.....	38
Figura 30. Dedilhado da nota musical “lá”, da escala natural.....	39
Figura 31. Dedilhado da nota musical “sol”, da escala natural.....	39
Figura 32. Dedilhado da nota musical “DÓ”, primeira oitava acima.....	39
Figura 33. Dedilhado da nota musical “RÉ”, primeira oitava acima.....	40
Figura 34. Dedilhado da nota musical “fá”, da escala natural.....	40
Figura 35. Dedilhado da nota musical “mi”, da escala natural.....	41
Figura 36. Dedilhado da nota musical “ré”, da escala natural.....	41
Figura 37. Dedilhado da nota musical “dó”, da escala natural.....	41
Figura 38. Dedilhado da nota musical “MI”, primeira oitava acima.....	42
Figura 39. Dedilhado da nota musical “FÁ”, primeira oitava acima.....	42
Figura 40. Dedilhado da nota musical “SOL”, primeira oitava acima.....	42

Figura 41. Dedilhado da nota musical “LÁ”, primeira oitava acima.....	43
Figura 42. Dedilhado da nota musical “SI”, primeira oitava acima.....	43
Figura 43. Dedilhado de forquilha da nota musical “fá#” ou “solb”.....	44
Figura 44 a. Dedilhado de forquilha da nota musical “sol#” ou “láb”	45
Figura 44 b. Dedilhado de forquilha da nota musical “lá#” ou “sib”.....	45
Figura 45. Dedilhados das notas musicais gerais referentes a flauta doce.....	46
Figura 46. Zona de compressão e rarefação gerada pela movimentação da molécula de ar de um auto falante.....	47
Figura 47. Divisão do fluxo de ar através do lábio da flauta doce, localizado na janela do instrumento.....	48
Figura 48. Disposição da coluna de ar atuante dentro do tubo da flauta doce.....	49
Figura 49. Dedilhado das notas musicais da escala natural.....	50
Figura 50. Tipos de flautas doce e seus variados tamanhos.....	50

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Deslocamento do pulso de onda.....	19
Equação 2. Comprimento de onda(λ) medido em radianos.....	21
Equação 3. Deslocamento vertical do pulso de onda.....	21
Equação 4. Deslocamento de dois pulsos de ondas com deslocamento horizontal nulo.....	21
Equação 5. Período da onda.....	21
Equação 6. Frequência da onda em função do período.....	22
Equação 7. Frequência da onda em função da frequência angular.....	22
Equação 8. Velocidade de propagação.....	22
Equação 9. Velocidade da onda em função do período.....	22
Equação 10. Velocidade da onda em função da frequência.....	22
Equação 11. Deslocamento de onda resultante da sobreposição de ondas estacionárias.....	23
Equação 12. Comprimento L de uma corda em função do número de harmônico n.....	25
Equação 13. Comprimento de onda (λ) de uma corda em função do número de harmônico n.....	25
Equação 14. Frequência de uma onda em função do número de harmônico n.....	25
Equação 15. Velocidade de um som em um meio material.....	29
Equação 16. Velocidade de um som em termos das propriedades de um gás.....	29
Equação 17. Velocidade do som no ar.....	29
Equação 18. Intensidade sonora em função da energia.....	30
Equação 19. Intensidade sonora em função da potência.....	30
Equação 20. Nível de intensidade sonora.....	30
Equação 21. Valor da razão entre duas notas musicais consecutivas da escala cromática das teclas de um piano em termos de valores irracionais.....	33
Equação 22. Valor da razão entre duas notas musicais consecutivas da escala cromática das teclas de um piano em termos de valores racionais.....	33
Equação 23. Comprimento L fundamental de um tubo aberto-fechado.....	49
Equação 24. Comprimento de onda λ fundamental de um tubo aberto-fechado.....	49
Equação 25. Frequência f fundamental de um tubo aberto-fechado.....	49
Equação 26. Expressão geral para o comprimento de onda λ em função do número n de harmônicos.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Nível de intensidade sonora.....	31
Tabela 2. Valor da frequência x de cada nota musical variando de acordo com a razão R	32
Tabela 3. Frequências das notas musicais da escala cromática.....	33
Tabela 4. Relação entre as notas musicais da escala natural e o comprimento do tubo referente a cada nota emitida.....	51
Tabela 5. Frequência das notas musicais medidas na flauta doce YAMAHA soprano/descant recorder. YRS – 24B.....	51

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. A MÚSICA E AS MUSAS GREGAS.....	14
3. FENÔMENOS ONDULATÓRIOS.....	18
3.1 Deslocamento do pulso de onda.....	18
3.2 Comprimento de onda, período e frequência.....	19
3.3 Velocidade de uma onda progressiva.....	22
3.4 Princípio da superposição de ondas.....	22
4. ACÚSTICA.....	26
4.1 Frequências audíveis, infrassons e ultrassons.....	26
4.2 Subdivisão do som em: ritmo, melodia e harmonia.....	27
4.3 Velocidade do som no ar.....	29
4.4 Intensidade sonora.....	30
4.5 Altura.....	31
4.6 Timbre	34
5. A FLAUTA DOCE.....	35
5.1 Histórico da flauta doce.....	35
5.2 Técnicas do instrumento.....	36
5.2.1 Posicionamento dos dedos.....	36
5.2.2 Posicionamento corporal.....	36
5.2.2.1 Tocando a flauta doce sentado.....	37
5.2.2.2 Tocando a flauta doce em pé.....	37
5.3 Primeiras notas musicais.....	38
5.3.1 Notas musicais com a mão esquerda.....	38
5.3.2 Notas musicais com a mão direita.....	40
5.4 Acidentes musicais.....	44
5.5 Dedilhados das notas musicais na flauta doce.....	45
5.6 Limpeza da flauta.....	47
5.7 A física na flauta doce.....	47
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
BIBLIOGRAFIA.....	53
APÊNDICE A.....	59
APÊNDICE B.....	60

Temos a percepção de que o estudo da física requer, em diversos momentos, grandes atos de abstração por parte dos alunos para que haja a real compreensão do fenômeno estudado. Entretanto, dependendo do fenômeno, esses atos de abstração que o professor, juntamente com o livro, tenta incitar em seus alunos, muitas vezes não são alcançados, com isso, acreditamos que a abordagem fenomenológica aliada a recursos didáticos diversificados possa favorecer uma melhor compreensão dos fenômenos físicos e um ensino mais significativo, no qual consideramos o professor como a principal ferramenta didática.

Dentre as características dos recursos didáticos utilizados pelo professor, a Música é um artifício que entre outros aspectos tem suas bases fundamentadas em uma construção fisiológica de sons modelada pela física das ondas sonoras.

Nesta monografia abordaremos os fenômenos acústicos relacionados com a Música, bem como o instrumento flauta doce e iremos trabalhar, a partir deste instrumento de sopro, a Física que vai além da sala de aula. Será visto um breve histórico do instrumento flauta doce, as técnicas que um flautista usa para manusear e produzir o som através do bocal ou também chamado bisset e por fim iremos fazer uma junção da física, música e a matemática utilizando as notas musicais e a frequência emitida por cada uma delas.

A ideia desta monografia não é encontrar a proposta perfeita para que o ensino seja repassado de maneira adequada, nem formular regras para que os professores possam seguir. A intenção é provocar o professor para que ele comece a pensar a este respeito, de convencê-lo que a utilização de métodos de ensino diferenciados na sala de aula pode trazer benefícios aos seus alunos, pois a ruptura daquilo que é repetitivo sempre é atraente para os jovens e desperta seu interesse, quando com criatividade oferecemos-lhes uma nova proposta de aprendizado da disciplina que lhes é ensinada.

A palavra: “música” vem do grego “*musiké téchne*” e significa “a arte das musas”, abrangendo também a poesia e a dança. O ritmo era o que havia em comum nas três artes e se fundiam em uma só.

As musas eram entidades mitológicas a quem os gregos atribuíam a inspiração e o desenvolvimento de toda e qualquer arte e ciência [2].

Segundo a mitologia grega, Zeus (pai dos deuses e dos homens) gerou nove filhas com Mnemósine (deusa da memória), inicialmente essas nove filhas representavam a inspiração apenas na área da música mas, posteriormente, tornaram-se imagens de outras artes.

Essas musas possuíam um templo chamado *museion* – de onde originou-se a palavra: *museu*, local de cultivo e preservação das Artes e Ciências.

CALÍOPE



Figura 1. Musa Calíope

O significado de seu nome é: “bela voz”. Calíope é considerada a deusa da poesia épica (um gênero literário no qual se incluem poesias narrativas mais ou menos breves, as quais revelam ecos com as ações heroicas no que se refere a sua constituição formal), da sabedoria e da eloquência é a mais velha e sábia das musas e por vezes é considerada a rainha entre elas.

Sua imagem está associada a de uma donzela com ar de majestade, coroada de louros e trazendo em suas mãos três livros: a *Ilíada*, a *Odisséia* e a *Eneida*.

CLIO



Figura 2. Musa Clio

O significado de seu nome é: “a proclamadora”. Clio é considerada a musa dos feitos históricos e da criatividade, aquela que divulga e celebra as realizações.

Sua imagem está associada a de uma jovem coroada de louros, trazendo na mão direita uma trombeta e na esquerda um livro.

ÉRATO



Figura 3. Musa Érato

O significado de seu nome é: “a amável”. Érato é considerada a musa da Poesia Romântica, ela instrui homens para que estes sejam amados e desejados por suas mulheres.

Geralmente vem representada com uma lira em uma das mãos e coroa de rosas na cabeça.

EUTERPE



Figura 4. Musa Euterpe

O significado de seu nome é: “a doadora de prazer”. Euterpe é considerada a musa da Música, das festas e da alegria. Aparece com ornamentos nos cabelos, roupas de cores vivas e alegres, que representam o prazer. Carrega na mão esquerda e na direita uma flauta (em alguns momentos aparece usando apenas uma flauta).

MELPÔNEME



Figura 5. Musa Melpômene

O significado de seu nome é: “a poetisa”. Melpômene é conhecida por ser a musa da tragédia, do Teatro e das encenações. Aparece usando ou carregando em uma das mãos a máscara de um ator importante.

POLÍMNIA



Figura 6. Musa Polímnia

O significado de seu nome é: “várias canções”. É considerada a musa dos movimentos corporais, da dança e da agricultura.

Sua maior característica é o pensamento e por isso aparece, na maioria das vezes, com ar pensativo e usando uma túnica. Aparece também carregando cachos de uvas, que simbolizam a fertilidade, da Terra e dos homens.

TERPSÍCORE



Figura 7. Musa Terpsícore

O significado de seu nome é: “a que se deleita na dança”. Também é considerada a musa da dança, porém, uma dança mais ousada, atraente e sensual.

Terpsícore aparece, geralmente, sentada, com um dos seios a mostra e carrega em uma das mãos uma lira.

TÁLIA



Figura 8. Musa Tália

O significado de seu nome é: “festividade”. É conhecida por ser a musa da comédia, das festas e celebrações.

Aparece, geralmente, com uma máscara em uma das mãos.

URÂNIA



Figura 9. Musa Urânia

O significado de seu nome é: “rainha das montanhas”. Urânia é considerada a musa da astronomia e da astrologia.

Aparece usando uma veste azulada (cor da abóbada celeste) e tem em torno de si um globo terrestre, também possui uma coroa ou diadema formado por um grupo de estrelas.

Não temos vestígios das primeiras manifestações musicais e por isso não podemos dizer ao certo quando nasceu a Música. Alguns estudiosos partem para essa pesquisa a partir do homem da pré – história e preenchem parte da lacuna com certa dose de imaginação.

Ao que parece, o homem das cavernas atribuía à Música um sentido religioso. Um caráter de rituais, associado à dança, para agradecer aos deuses a abundância da caça, da fertilidade da terra e do homem. Começaram a produzir ritmo batendo as mãos e os pés. Mais tarde, em vez de usarem só as mãos e os pés, passaram a ritmar suas danças com pancadas em madeiras, primeiro de forma simples e depois trabalhadas e assim, surgia, os primeiros instrumentos de percussão.

Com o tempo o homem sentiu vontade de imitar o sopro do vento, o ruído das águas e o canto dos pássaros. Mas, para isto, o ritmo não bastava, nessa tentativa surgiram estranhos sons tirados da garganta, que junto com o ritmo, resultou na mistura de palmas e roncões, pulos e uivos, batidas e berros e assim surgia a Música, como sendo uma mistura de sons que pode ser estudado a partir do estudo dos fenômenos ondulatórios.

3.1 DESLOCAMENTO DO PULSO DE ONDA

A natureza é composta por inúmeros movimentos que abrangem o badalar de um sino, o movimento de um automóvel e até os movimentos de rotação e translação da Terra, quando um objeto faz um movimento sincronizado, onde o tempo que ele leva para dar a primeira volta é exatamente o mesmo tempo que ele leva para percorrer as demais, chamamos de Movimento Harmônico Simples. Observe na figura 10 um objeto que está sobre uma superfície horizontal, sem atrito, onde uma de suas extremidades foi presa à mola e a outra ficou livre, enquanto que a outra extremidade da mola foi presa à parede. Inicialmente o objeto encontra-se em equilíbrio, o que chamamos de posição inicial do objeto nula, nesta posição a mola não exerce força ao corpo, mas se empurrarmos ou puxarmos o objeto a mola irá se deformar imprimindo uma força no objeto. Vamos considerar que o corpo foi puxado desde o seu ponto de equilíbrio 0 até o ponto A e logo em seguida foi abandonado, ele irá adquirir aceleração e sua velocidade aumentará. Pela terceira lei de Newton temos que uma força foi aplicada a mola para puxá-la até o ponto A e outra força de mesma intensidade, mesma direção e sentido contrário está agindo no corpo através da mola, então esta força que a mola imprime no bloco o faz “querer” retornar ao seu sentido de origem, quando isso acontece o corpo adquire velocidade maior que a necessária para ele ficar no ponto de equilíbrio, então ele se desloca até o ponto A' , onde sua velocidade diminui e se anula. Saindo do ponto A' o corpo é novamente acelerado e o processo se repete fazendo com que o corpo oscile entre os pontos A e A' passando pelo ponto de equilíbrio.

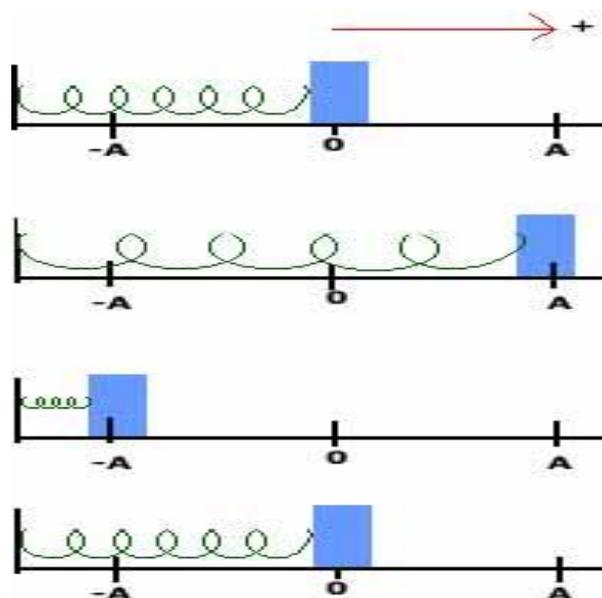


Figura 10. Movimento harmônico simples de um corpo que oscila entre os pontos A e A' passando por seu ponto de equilíbrio 0 .

Faremos o mesmo procedimento, porém usando uma corda. Uma de suas extremidades será fixada a uma parede e a outra ficará livre, com uma das mãos faremos movimentos ascendentes e descendentes na parte livre da corda, na direção vertical, fazendo com que a mesma efetue um movimento harmônico simples.

O pulso de onda formado irá se deslocar na direção horizontal com uma velocidade v de propagação, enquanto o deslocamento da onda se dá na direção vertical nos sentidos de baixo para cima e vice versa.

A figura 11(a) nos mostra que a corda estando parada permanece em sua posição de equilíbrio sem que haja formação de pulsos ondulatórios se propagando, porém quando a colocamos em movimento, de acordo com a figura 11(b) a corda inicia um processo vibratório e forma os pulsos de onda.

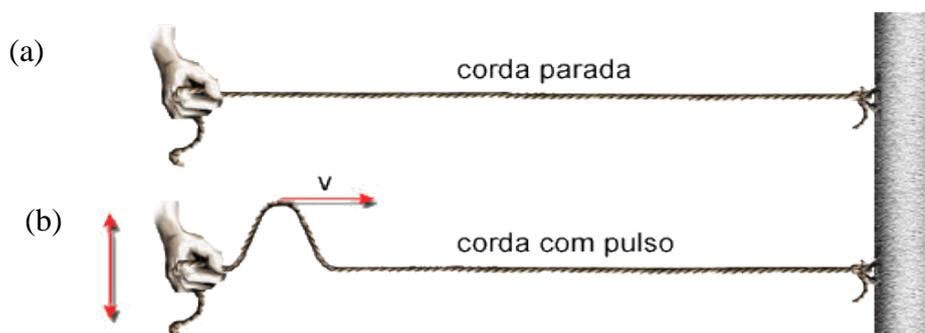


Figura 11. Movimento ondulatório provocado por uma força aplicada em uma corda, onde podemos ver que a direção de propagação da onda se dá de forma perpendicular ao deslocamento.

3.2 COMPRIMENTO DE ONDA, PERÍODO E FREQUÊNCIA.

Quando balançamos a corda ela descreve uma forma de onda do tipo senoidal e se desloca no eixo y em função da posição x em um intervalo de tempo Δt , portanto, o deslocamento da onda é dado por uma equação que relacione essas características.

$$y(x, t) = y_m \text{ sen } (kx - \omega t), \quad (1)$$

onde y_m é a amplitude da onda (distância entre a posição de equilíbrio e a posição extrema para cima ou para baixo). $y(x, t)$ é a posição que a onda ocupa na direção horizontal em um determinado tempo t e $y_m \text{ sen } (kx - \omega t)$ define a forma da onda, nesse caso tratando-se de uma onda do tipo senoidal.

A corda oscila para cima e para baixo passando pelo seu ponto de equilíbrio, ao se deslocar para cima a onda forma uma concavidade voltada para baixo, que recebe o nome de *crista*. Quando se desloca para baixo a concavidade se volta para cima, recebendo o nome de *vale*, como mostra a figura 12.

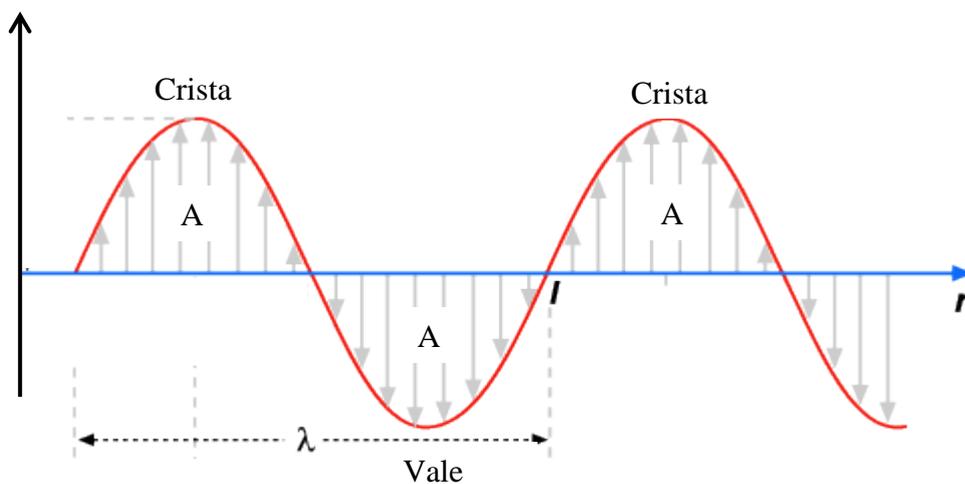


Figura 12. Demonstração dos pulsos ascendentes e descendentes que se propagam ao longo de uma corda, onde as concavidades que estão abaixo da linha tracejada estão voltadas para cima e são chamadas de VALE, já as que estão acima da linha tracejada estão voltadas para baixo, e são chamadas de CRISTA. A distância que vai de um vale até a posição de equilíbrio ou de uma crista até a posição de equilíbrio recebe o nome de amplitude(A) da onda.

A corda atinge seu ponto máximo (crista) e retorna ao ponto de equilíbrio, em seguida atinge seu ponto mínimo e retorna ao ponto de equilíbrio, após esse intervalo o processo se repete. Cada repetição da onda recebe o nome de *pulso*, o “tamanho” de cada pulso recebe o nome de *comprimento de onda* (λ), demonstrado na figura 12.

A função seno atinge seu ponto máximo +1 e retorna ao seu ponto de equilíbrio, em seguida atinge seu ponto mínimo -1 e retorna ao seu ponto de equilíbrio, repetindo o ciclo após esse intervalo. Ambos os procedimentos acontecem da mesma forma, o que nos possibilita fazer uma analogia entre o pulso de onda propagado na corda e a função seno no ciclo trigonométrico.

De acordo com a figura 13, temos que o ponto inicial de propagação do pulso da corda está localizado no ponto de equilíbrio (a), em seguida ele faz um processo de ascensão até o ponto (b) e torna a voltar para o ponto de equilíbrio situado em (c), após esse processo o pulso entra em descensão e atinge seu ponto mínimo localizado em (d), por fim retorna ao seu ponto de equilíbrio localizado em (e). Na mesma figura temos o comportamento da função seno que inicia seu movimento em seu ponto de equilíbrio a 0° , elevando-se até seu ponto máximo +1 que está localizado a 90° , em sequência retorna ao seu ponto de equilíbrio localizado a 180° , entrando em processo de declínio até atingir seu ponto mínimo de valor -1 localizado a 270° , completando seu ciclo no seu ponto de equilíbrio a 360° .

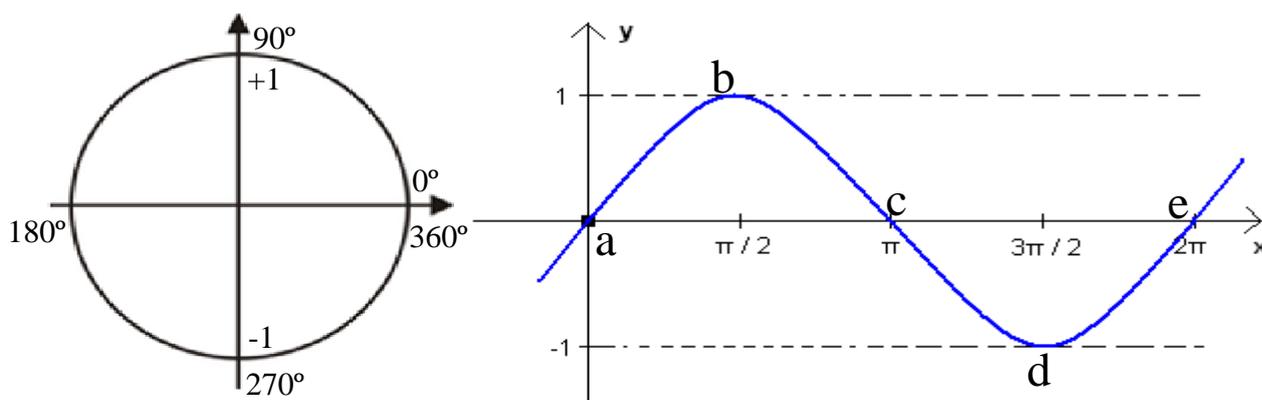


Figura 13. Relação entre a repetição da propagação de um pulso de onda efetuado em uma corda com função seno no ciclo trigonométrico.

De acordo com a analogia feita, temos que o comprimento de onda λ do pulso de onda propagado na corda corresponde a uma volta completa no ciclo trigonométrico, que em radianos equivale a 2π , assim temos a igualdade:

$$\lambda = 2\pi \text{ rad.} \quad (2)$$

Vamos analisar o movimento de um único ponto P, inicialmente em repouso, na corda. De acordo com a figura 14 vamos perceber que a medida que o pulso de onda se desloca ao longo de sua trajetória, o ponto P realiza movimento vertical, passando pelo seu ponto de equilíbrio e atingindo valores que variam entre P_1 e P_2 .

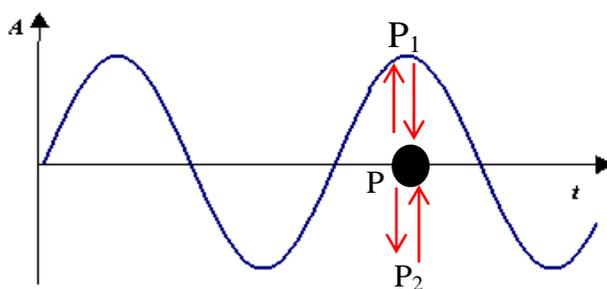


Figura 14. Oscilação vertical de um ponto P através de uma corda.

O tempo que a onda leva para fazer o ciclo superior e o inferior é chamado de período (T), como o ponto se desloca apenas no eixo y, seu percurso no eixo x é nulo, assim de acordo com a equação (1) teremos:

$$\begin{aligned} y(0,t) &= y_m \cdot \text{sen}(k \cdot 0 - \omega t) \\ y(0,t) &= -y_m \cdot \text{sen} \omega t. \end{aligned} \quad (3)$$

Se pegarmos dois pontos t_1 e t_2 no decorrer da corda, teremos que ambos se deslocarão com $y(0,t)$, assim, igualando os resultados teremos:

$$\begin{aligned} y(0,t) &= y(0,t) \\ -y_m \cdot \text{sen} \omega t &= -y_m \cdot \text{sen} \omega(t + T) \\ -y_m \cdot \text{sen} \omega t &= -y_m \cdot \text{sen}(\omega t + \omega T), \end{aligned} \quad (4)$$

como a onda se repete a cada 2π rad, temos que:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}, \quad (5)$$

onde ω é a frequência angular e T é o período da onda.

O número de vezes que a onda realiza o movimento de ascensão e descensão em um determinado intervalo de tempo é chamado de frequência (f), que pode ser determinada através da equação:

$$f = \frac{n}{T}. \quad (6)$$

Para a frequência fundamental, a menor possível, vamos considerar $n=1$, assim:

$$f = \frac{\omega}{2\pi}. \quad (7)$$

3.3 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE UMA ONDA PROGRESSIVA

A velocidade de propagação da onda se dá na direção horizontal. A onda percorre uma variação de posição Δx em um intervalo de tempo Δt . A razão $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ é referente a velocidade de propagação da onda.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}. \quad (8)$$

Como foi visto anteriormente o deslocamento da onda é equivalente ao seu comprimento de onda (λ) e o intervalo de tempo de propagação é o seu período (T), substituindo essas informações na equação 8, teremos:

$$v = \frac{\lambda}{T}. \quad (9)$$

como o período (T) de uma onda é equivalente ao inverso de sua frequência, podemos encontrar a velocidade de propagação da onda através da equação:

$$v = \lambda \cdot f. \quad (10)$$

3.4 PRÍNCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO DE ONDAS

Se dispuséssemos de uma corda e nesta fizéssemos propagar não mais um pulso de onda e sim dois ou mais simultaneamente, esses pulsos se relacionariam entre si de forma variada, dependendo da extensão e fase de cada um, a esse fenômeno damos o nome de *interferência*, que ocorre quando duas ou mais ondas se encontram em uma mesma região no espaço.

Cada onda terá seu deslocamento $y(x,t)$ definido, quando ocorre uma interferência o deslocamento resultante é a soma dos deslocamentos das ondas sobrepostas:

$$y'(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t). \quad (11)$$

Esta equação nos diz que a onda resultante vai produzir o mesmo efeito da soma dos efeitos individuais provocados por cada onda.

Suponha que dois pulsos de mesmo comprimento de onda, mesma amplitude e mesma direção, porém sentidos contrários são propagados ao longo de um meio, se as ondas estiverem perfeitamente alinhadas elas se combinarão para dobrar o deslocamento produzido por uma delas, conforme a figura 15.

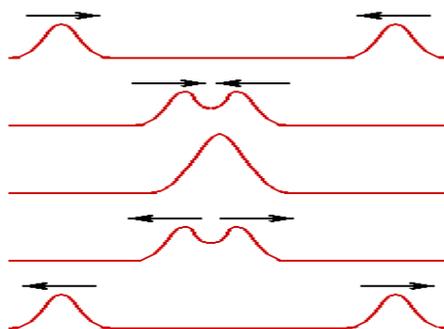


Figura 15. Viagem de dois pulsos que seguem em sentidos opostos e se sobrepõe em uma interferência, após esse processo cada pulso segue sua trajetória de forma independente.

Se a crista de uma onda estiver alinhada à crista de outra onda e elas sofrerem interferência, a onda resultante será também uma crista com o dobro do valor de uma crista independente, conforme figura 16(a). Se o vale de uma onda estiver alinhado ao vale de outra onda, no momento da interferência a onda resultante também será um vale, com o dobro do valor de um vale independente. Em ambos os casos temos uma interferência do tipo construtiva, onde há um reforço das ondas e a onda resultante tem sua amplitude dobrada.

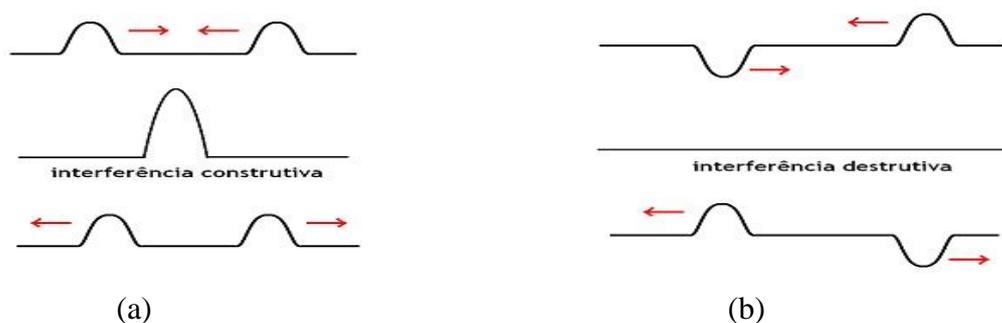


Figura 16. Na figura (a) temos dois pulsos de onda que se propagam na mesma direção e em sentidos opostos, como esses pulsos estão em concordância de fase a tendência é formar um pulso resultante, onde a vibração da corda se dá de forma livre e recebe o nome de VENTRE. Na figura (b) temos dois pulsos se propagando em sentidos opostos, porém, estes não estão em concordância de fase, portanto a tendência do pulso resultante é de forma uma amplitude nula, ponto onde não existe vibração da corda e recebe o nome de NÓ.

No entanto, se a interferência ocorrer entre o vale de uma das ondas e a crista da outra, teremos um ponto aonde as ondas irão se anular e neste ponto não haverá vibração, conforme a figura 16(b), neste caso ocorre uma interferência do tipo destrutiva, onde as ondas se cancelam e a onda resultante tem amplitude nula.

Aplicando-se o princípio da superposição de ondas podemos encontrar na onda resultante, certos pontos sobre a corda em que o deslocamento não ocorre e a vibração é nula, esses pontos são chamados de NÓS, entre dois nós existem os pontos em que a amplitude da onda é máxima e sua vibração é diferente de zero, esses pontos são chamados de *ventres*, conforme mostra a Figura 17.

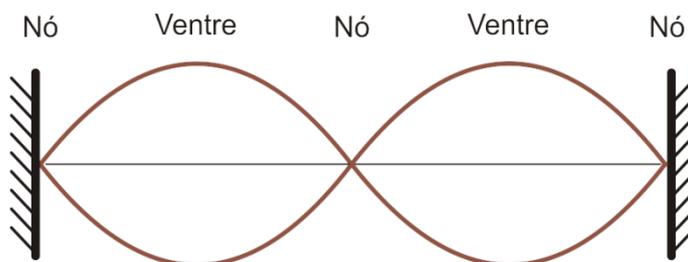


Figura 17. Representação de uma onda provocada em uma corda onde suas extremidades estão presas, essas extremidades não possuem vibração e, portanto, são pontos de nós, bem como a parte central da onda. As concavidades que estão entre os nós são chamadas de ventre e se põem a vibrar de forma livre.

Vamos considerar uma corda esticada entre dois suportes. As ondas que se propagam viajam com frequências variadas e quando chegam às extremidades são refletidas, as que possuírem frequências iguais às frequências ressonantes persistirão na corda enquanto as demais serão extintas. A menor frequência estabelecida pela onda é chamada frequência fundamental e corresponde ao harmônico fundamental ou primeiro harmônico, como demonstra a figura 18, as demais frequências serão múltiplos inteiros da frequência fundamental.

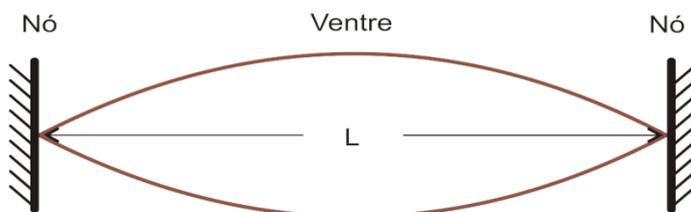


Figura 18. Representação esquemática de uma onda estacionária emitindo seu harmônico fundamental ou primeiro modo de vibração. Nesta situação a frequência de vibração é chamada de frequência fundamental.

Temos que lembrar que, em uma onda estacionária, a distância entre dois nós consecutivos é correspondente a $\lambda/2$. Observe, na figura 18, que o harmônico fundamental possui um comprimento L que corresponde à distância entre dois nós, logo, podemos dizer que essa distância L é correspondente a $\lambda/2$, o que nos permitirá escrever $L = \lambda/2$ para o harmônico fundamental. Se aumentarmos o modo de vibração sem alterarmos o comprimento da corda, teremos uma relação entre o comprimento da corda e o comprimento de onda da onda estacionária que nela se estabelece, de acordo com a figura 19.

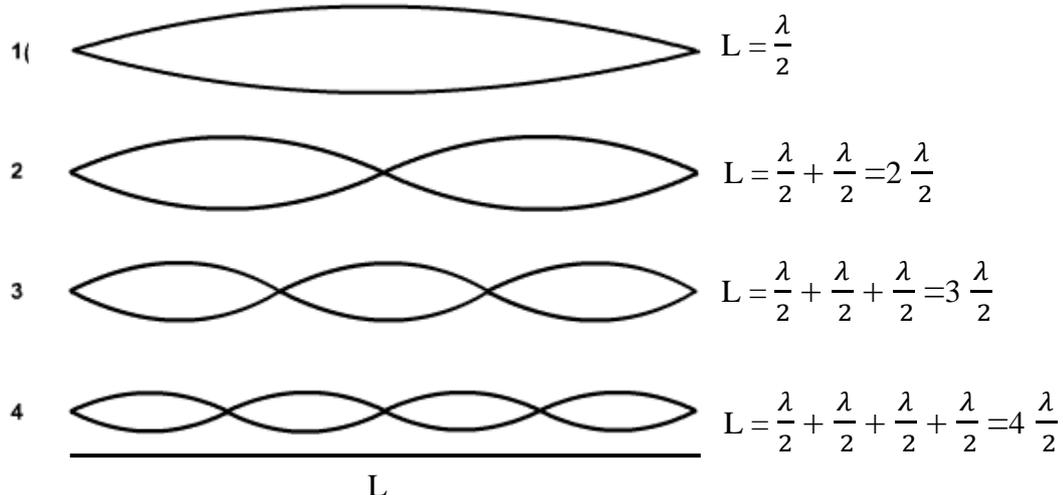


Figura 19. Relação entre o comprimento da corda e o comprimento de onda correspondente a cada harmônico.

De forma genérica para o n ésimo harmônico teremos:

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad (12)$$

onde $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$ E corresponde ao número de harmônicos.

Para $n=1$ temos o harmônico fundamental, para $n=2$ temos o segundo harmônico e assim, por conseguinte.

Se pegarmos a equação 12 e isolarmos o comprimento de onda (λ), teremos:

$$\lambda = 2 \cdot \frac{L}{n}. \quad (13)$$

Para encontrarmos a frequência da onda em função do número de harmônicos vamos dispor da equação $v = \lambda \cdot f$, e substituir no local do comprimento de onda (λ) a equação de número 13, assim teremos:

$$f = n \frac{v}{2L}. \quad (14)$$

Para $n=1$ temos o harmônico fundamental (menor frequência adquirida), para os demais harmônicos teremos múltiplos inteiros do valor da frequência fundamental.

4.1 FREQUÊNCIAS AUDÍVEIS, INFRASSONS E ULTRASSONS.

Acústica é o ramo da Física que estuda o som. O som é a percepção de moléculas que se agitam em um determinado meio material em um determinado intervalo de tempo, por necessitar de um meio material para se propagar o som é considerado uma onda mecânica, do tipo longitudinal, enquanto um elemento da onda se movimenta para cima e para baixo a onda passa através dele na horizontal, nesse caso o deslocamento de cada partícula que oscila é perpendicular à direção em que a onda se propaga .

Quando escutamos uma música somos capazes de apreciar sua beleza, isso ocorre por causa de pequenas estruturas guardadas dentro do crânio que são capazes de capturar o som ao nosso redor e o codificar, esse mecanismo se dá em diferentes etapas e se resume no processo de audição.

O ouvido é a porta pela qual a música consegue alcançar o cérebro, ele é capaz de distinguir milhões de sons diferentes e reconhecer a voz de uma pessoa com base na diferença, sutil, entre cada voz, ele também é capaz de selecionar o que uma pessoa está dizendo no meio de uma grande multidão e até localizar sua posição por meio do som por ela emitido. Os órgãos responsáveis pela audição são protegidos pelos ossos do crânio e apenas algumas partes desses órgãos atuam no processo da audição, como é o caso do tímpano (grupo de pequenos ossos) e a cóclea (estrutura enrolada semelhante à concha de um caracol e que possui o tamanho de uma ervilha).

Quando o som chega aos nossos ouvidos as dobras da orelha amplificam algumas frequências e diminuem outras, como cada ser humano possui a forma das orelhas diferentes, o mesmo som será percebido de forma distinta para cada ouvinte.

O ouvido externo capta as ondas sonoras e estas passam pelo Canal Auditivo (numeração 1 referente a figura número 20), que possui ceras e pêlos com o objetivo de afastar corpos estranhos como insetos e poeira, ao fim do canal auditivo o som encontra uma barreira, que é a única separação entre o meio exterior e o meio interior, essa barreira é o Tímpano (numeração 7 referente a figura número 20), uma membrana que ao vibrar aciona três pequenos ossos: Martelo (osso ligado diretamente na parte de dentro do tímpano - numeração 2 referente a figura número 20), bigorna (ossículo que fica entre o martelo e o estribo - numeração 3 referente a figura número 20) e estribo (menor osso do corpo humano, seu tamanho é semelhante ao de um grão de arroz - numeração 4 referente a figura número 20). A função desses ossos é aumentar em até 20 vezes a pressão das ondas sonoras e levar esse som para a parte interna, o que chamamos de Ouvido Interno.

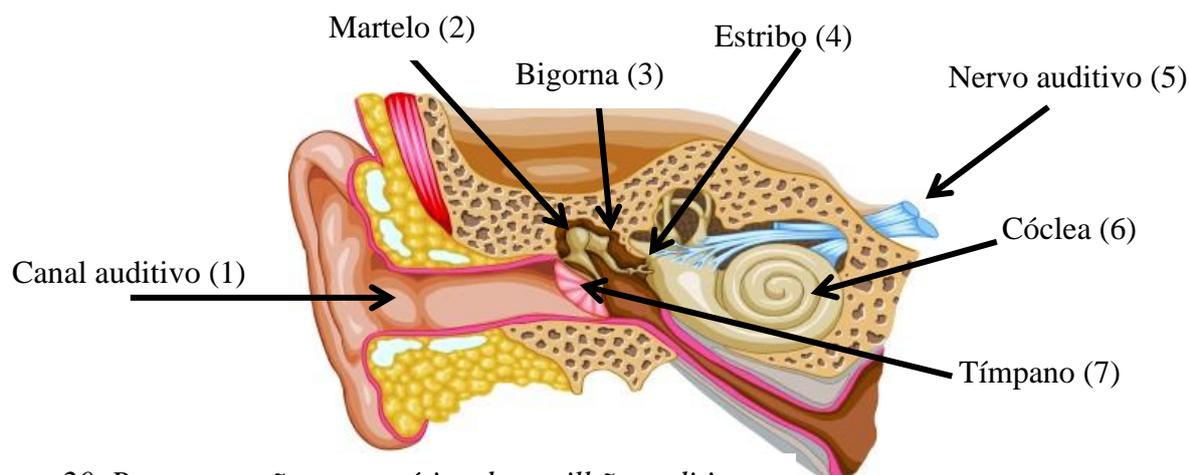


Figura 20. Representação esquemática do pavilhão auditivo.

O Ouvido Interno é repleto de um líquido amarelado e o som se propaga através desse líquido que preenche a espiral da cóclea (numeração 6 referente a figura número 20), esse órgão é cercado por minúsculos “microfones” chamados de Órgão de Corte que transformam as sensações sonoras em impulsos elétricos e estes viajam em direção ao cérebro através do Nervo Auditivo (numeração 5 referente a figura número 20). Ao chegar ao cérebro, o computador central dessa pequena caixa acústica, o som chega como sinais elétricos codificados e estimulados pelos nervos do aparelho auditivo e produz o som. [3].

As ondas sonoras se propagam com diversas frequências distintas, porém, o ouvido humano não é capaz de identificar todas as faixas e se restringe a ouvir os sons com frequências entre 20 e 20.000Hz, aproximadamente. Esse intervalo de frequência é chamado de faixa de frequência audível, quando a frequência é menor que 20 Hz, as ondas são ditas infrassons e acima de 20.000 Hz são ditas ultrassons.

4.2 SUBDIVISÃO DO SOM EM: RITMO, MELODIA E HARMONIA

Os sons podem ser naturais: trovões, marés, vento balançando os galhos de uma árvore. Humanos: tosse, espirro, palmas, voz humana e podem ser também artificiais: badalar de um sino, teclas de um piano, etc. cada som musical é dividido em três partes: ritmo, melodia e harmonia.

Ritmo: do grego, a palavra ritmo significa *movimento realizado de forma sincronizada*. Na música o ritmo se dá pela junção de dois componentes: o som e o silêncio, que são combinados entre si para formar um padrão sonoro que se repete ao longo da música, podendo ter batidas suaves ou fortes.

Se relacionarmos o ritmo musical com o ritmo cardíaco podemos entender o significado das palavras: pulso e pulsação para a música.

Vamos imaginar um movimento ordenado de fluxo sanguíneo através do nosso corpo, onde o movimento de sístole contrai o músculo cardíaco, enquanto o movimento de diástole o relaxa. Ao realizar ambos os movimentos apenas uma vez, temos um ponto. Quando esses movimentos ocorrem com uma frequência constante, temos um conjunto de pontos, que chamamos de pulsação [4].

Os movimentos de contração e relaxamento precisam estar em harmonia, de forma que cada movimento ocorra no seu devido tempo e não de forma aleatória, para isso é necessário que cada velocidade entre sístole e diástole esteja sincronizada, de outra maneira teremos uma deformação no ritmo, o que chamamos de arritmia cardíaca, que pode levar a morte. Na música não é diferente, cada pulsação tem o seu tempo e a sua velocidade, o que chamamos de andamento. Toda música acompanha a pulsação no seu devido andamento.

É o ritmo que vai provocar a ação do nosso corpo nos fazendo dançar diante de uma música agradável, isso acontece devido o poder de provocação que o som possui e o poder de provocar ação dos nossos mais variados sentidos.

Melodia: é uma sequência de notas musicais, de diferentes sons, organizadas de um modo a fazer sentido musical para quem a escuta. A melodia é a junção do encontro do texto literário com o texto musical, que pode ser feita quando colocamos letra em uma música ou quando colocamos

música em um texto, também é possível colocarmos melodia na letra de um poema, como é o caso do poema: **A CASA** *, de Vinicius de Moraes.

A CASA

“Era uma casa
Muito engraçada
Não tina teto
Não tinha nada
Ninguém podia entrar nela não
Porque na casa não tinha chão
Ninguém podia dormir na rede
Porque na casa não tinha parede
Ninguém podia fazer pipi
Porque penico não tinha ali
Mas era feita com muito esmero
Na rua dos bobos
Número zero”.

Harmonia: A palavra harmonia possui vários significados que vão além do ramo da música, de acordo com o dicionário significa *disposição bem ordenada entre as partes de um todo*, a harmonia é, portanto, a junção entre melodia e ritmo.

Num coral, por exemplo, podemos ter um grupo cantando uma determinada parte da música, enquanto no mesmo intervalo de tempo outro grupo canta outra parte, nesse caso estamos diante de uma polifonia, onde a harmonia surge quando duas ou mais melodias são tocadas ao mesmo tempo. Fazendo uma analogia entre as cores teremos o seguinte exemplo:

Quando misturamos a cor azul com a cor amarela temos o resultado como sendo a cor verde, por isso podemos dizer que o amarelo e o azul possuem afinidades cromáticas com o verde, pois fazem parte da mesma composição, ou seja, o amarelo e o azul se harmonizam com o verde. Com os sons ocorre a mesma situação, a função da harmonia é criar afinidade entre os sons e entre as notas musicais.

A escala musical “dó”, “ré”, “mi”, “fá”, “sol”, “lá”, “si” foi criada há muitos séculos, desde a Idade Média, período que vai do final do século V à metade do século XV da civilização ocidental, mas foi somente no final do século X e início do século XI que ela tornou-se conhecida. Quem a criou foi o monge beneditino Guido d’Arezzo, ele pegou os versos em latim escritos em forma de um hino à São João Batista e os musicou.

*UT QUEANT LAXIS
RESONARE FIBRIS
MIRA GESTORUS
FAMILI TUORUM
SOLVE POLLUTI
LABIL REATUM
SANCTA JOANS.*

*Para que os vossos servos
possam cantar livremente
as maravilhas dos nossos feitos
tirai toda mácula
de pecado dos seus
lábios impuros
oh, São João.*

* Notas musicais, adaptadas para flauta doce, da música : “A CASA” de Vinicius de Moraes, disponível em APÊNDICE A.

A sílaba inicial de cada verso foi traduzida e deu origem a escala musical que conhecemos atualmente, como sendo: dó – ré – mi – fá – sol – lá – si.

4.3 VELOCIDADE DO SOM NO AR

As ondas mecânicas, como o som, por exemplo, se propagam com maior velocidade nos meios sólidos que nos líquidos e nos líquidos com maior velocidade que nos meios gasosos, portanto, a velocidade do som depende do meio material em que ele se propaga, para que haja a propagação do som o meio deve possuir massa (para variar sua energia cinética) e elasticidade (devido a variação de pressão que ocorre no meio), esses fatores determinam a rapidez com que a onda pode se propagar, assim temos a velocidade do som em um determinado meio dado por:

$$v = \sqrt{\frac{B}{d}}, \quad (15)$$

onde: B é o módulo da elasticidade volumar do meio e d é a densidade (quanto mais denso o meio, maior a perturbação das partículas).

Escrevendo a equação da velocidade do som em termos das propriedades de um gás, teremos:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{d}}, \quad (16)$$

onde: γ é a razão entre o calor específico a volume constante e o calor específico a pressão constante e que no ar tem valor de 1,4. P é a pressão do gás e d é a densidade.

Se pegarmos a equação $PV = nRT$, onde $\frac{n}{V} = \frac{1}{M}$, teremos uma equação do tipo $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ onde M é a massa molecular, que para o exemplo em questão vale $2,88 \cdot 10^{-2} \text{ Kg.mol}^{-1}$, R é a constante universal dos gases que vale $8,314 \text{ J.mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ e T é a temperatura de 0°C , temperatura no ar, equivalente a 273K .

Substituindo os valores estabelecidos na equação 16, teremos:

$$v = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 8,312 \cdot 273}{2,88 \cdot 10^{-2}}} \quad (17)$$

$v = 332,16 \text{ m/s} .$

Esta especificação é importante para mostrar que a temperatura influencia na velocidade do som, de fato, a agitação das moléculas de um gás aumenta com o aumento da variação da temperatura fazendo com que a propagação da onda sonora seja mais rápida [5]. As principais características do som são: intensidade, altura e timbre.

4.4 INTENSIDADE SONORA

A intensidade é a propriedade do som que está relacionada com a vibração da fonte que emite a onda sonora e está diretamente associada à amplitude da onda. Quando a amplitude é alta, o som é conhecido como *som forte*, porém, quando a amplitude é baixa o som é dito *fraco*.

Ao se propagar as ondas transportam energia e as distribuem em todas as direções, a quantidade de energia emitida pela onda sonora é diretamente proporcional a intensidade do som que percebemos, portanto, a intensidade é a quantidade de energia que atravessa uma determinada área (o som é tridimensional, por isso consideramos a área) em um intervalo de tempo, podendo ser descrita pela equação:

$$I = \frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t} \quad (18)$$

A energia é o produto entre a potência e a variação do tempo, de acordo com a equação $E = P \cdot \Delta t$, a partir desta equação teremos que a potência P é o quociente entre a energia E e a variação de tempo Δt , substituindo essa potência encontrada na equação 18 teremos:

$$I = \frac{P}{A}, \quad (19)$$

o que nos mostra que a intensidade sonora também pode ser descrita em função da potência do som emitido em uma determinada área.

A mínima intensidade sonora que um ser humano pode ouvir é de 10^{-12} W/m^2 , que é representado por I_0 , intensidade sonora fundamental.

Se a intensidade de um som aumentasse em até dez vezes, o nosso ouvido não teria uma sensação sonora de 10 vezes mais, tudo porque a resposta que o nosso ouvido tem é de forma logarítmica e não diretamente proporcional ao aumento da intensidade sonora. Para medir essa sensação que o som produz em nossos ouvidos, definiremos um nível de intensidade sonora representado por β , dado pela equação:

$$\beta = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}, \quad (20)$$

onde $I_0 = 10^{-12}$ e I é a intensidade do som.

A unidade do nível de intensidade sonora é o bel (B) em homenagem ao cientista inglês Graham Bell (1847-1922), porém é mais utilizada uma fração do bel, que é o decibel (dB):

1 decibel = 0,1 bel, pelo fato de a unidade em bel utilizar valores muito altos.

Os sons de alta intensidade incomodam o ouvido, se o som chegar a uma intensidade de 120 dB, nosso ouvido começa a sentir uma sensação dolorosa, conhecida como *limiar de dor* (a partir desse limite o som começa a provocar danos ao sistema auditivo), conforme mostra a tabela 1.

INTENSIDADE SONORA	
Folha Agitada	15 dB
Conversa branda	60 dB
Som das teclas de um piano	90 dB
Buzina de um carro	120 dB
Avião decolando	125 dB
Limiar de dor	140 dB

TABELA 1. Nível de intensidade sonora, na escala de 15 dB até o limiar de dor, que corresponde a 140 dB

4.5 ALTURA

A altura de um som está relacionada com a sua frequência e esta determina se um som é grave ou agudo.

A voz feminina, na sua maioria, é mais “fina” que a masculina, portanto, é uma voz do tipo aguda e quanto mais agudo é o som, maior a sua frequência, já a voz masculina é mais grave e, portanto, possui menor frequência que a voz feminina, em linguagem científica dizemos que um som agudo é alto e um som grave é baixo.

“É interessante notarmos que com essa definição de altura é possível alguém “gritar” em som baixo (grave) e sussurrar um som alto (agudo)” [6].

Quando trabalhamos com a escala musical também estamos trabalhando com a qualidade fisiológica do som: Altura, pois cada nota musical emitida por um instrumento possui uma frequência característica. Observe o desenho do teclado de um piano, na figura 21.

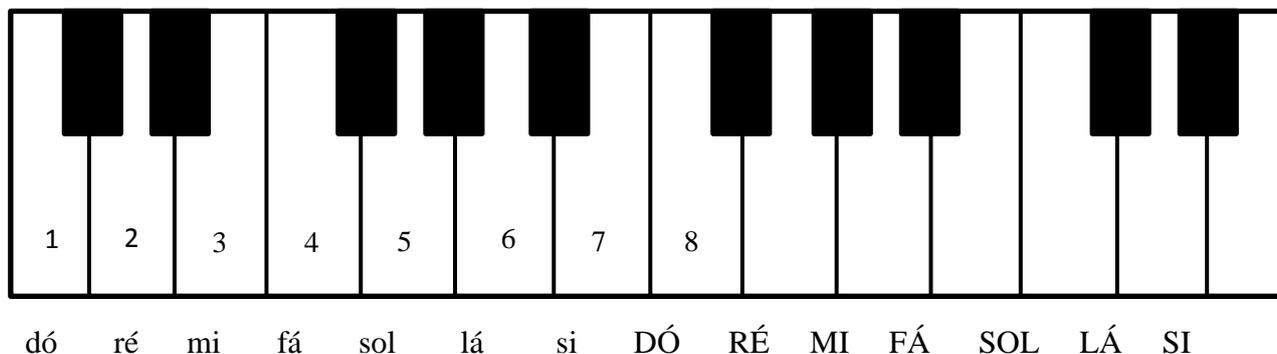


Figura 21. Representação esquemática das teclas de um piano com suas respectivas notas musicais.

Com o auxílio da figura podemos perceber que as teclas brancas são dispostas de forma sequencial referente às notas naturais da escala musical que vai da nota “dó” até a nota “si”, conforme visto no tópico 4.2. Quando as sete notas da escala musical natural se esgotam surge a necessidade de repeti-las, porém a próxima nota emitida terá o dobro da frequência da primeira nota musical da escala natural, que neste caso é o “dó”, essa oitava nota tocada recebe o nome de *oitava acima* e por possuir o dobro da frequência da primeira nota seu som sai mais agudo. A nona nota

musical seria o “RÉ”, uma oitava acima da nota musical “ré” da escala natural, e portanto, teria o dobro da frequência da nota “ré” natural e assim acontece com as demais notas musicais.

A representação das notas musicais da escala natural é dada com o nome da nota emitida escrita com letras minúsculas, enquanto que as notas musicais das oitavas acima são escritas com o nome da nota emitida em letras maiúsculas.

Numa escala de “dó” a “DÓ”, equivalente ao intervalo das teclas do piano que vai de 1 a 8, a razão entre a frequência na nota mais aguda (oitava acima) e da nota mais grave (escala natural) dá um valor numérico igual a 2, por exemplo, se pegarmos a frequência da nota “RÉ” da oitava acima e dividirmos pelo valor da frequência da nota “ré” da escala natural, teríamos como resultado o valor 2 e assim ocorre para as demais notas musicais.

Para identificarmos o valor numérico da frequência de cada nota musical emitida usaremos proporções matemáticas. Vamos dispor de uma escala cromática das teclas de um piano, composta pelas sete notas musicais naturais (teclas brancas) e uma oitava acima, de acordo com a figura 22, e cinco acidentes musicais sustentidos (teclas pretas), que serão estudados nos capítulos seguintes.

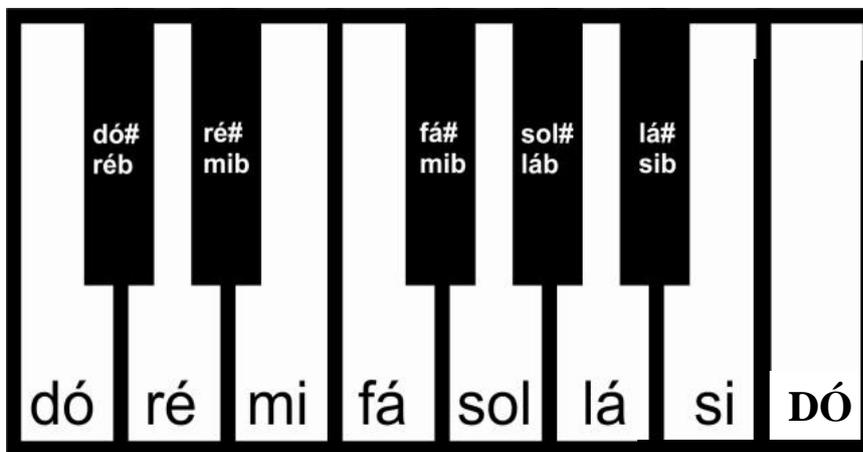


Figura 22. Representação esquemática da escala cromática das teclas de um piano.

A leitura sequencial da escala cromática é feita da seguinte maneira: “dó” – “dó#” – “ré” – “ré#” – “mi” – “fá” – “fá#” – “sol” – “sol#” – “lá” – “lá#” – “si” e “DÓ”.

A primeira nota é a nota “dó”, como não conhecemos o valor da sua frequência chamaremos esse valor de x e a razão entre duas notas consecutivas chamaremos de R , por exemplo, de “dó” para “dó#” temos duas notas consecutivas, portanto a razão entre elas será R .

Observe que de “dó” para “dó#” temos R , de “dó#” para “ré” temos $R.R$, de “ré” para “ré#” temos $R.R.R$, seguindo a sequência teremos a tabela 2, que nos mostra o valor da frequência x de cada nota musical variando de acordo com a razão R .

“dó”	“dó#”	“ré”	“ré#”	“mi”	“fá”	
X	$x.R$	$x.R^2$	$x.R^3$	$x.R^4$	$x.R^5$	
“fá#”	“sol”	“sol#”	“lá”	“lá#”	“si”	“DÓ”
$x.R^6$	$x.R^7$	$x.R^8$	$x.R^9$	$x.R^{10}$	$x.R^{11}$	$x.R^{12}$

TABELA 2. Variação da frequência de cada nota musical em relação a razão R entre elas.

Como podemos perceber essa escala de frequência é dada através de uma progressão geométrica, cuja razão é R, ou seja, cada frequência terá a mesma frequência da nota anterior vezes a razão R.

Vamos comparar a frequência da nota “dó” com a frequência da nota “DÓ”. O segundo “DÓ” possui o dobro da frequência da nota “dó”, portanto escreveremos $2 \cdot \text{frequência de “dó”} = \text{frequência de “DÓ”}$, que será descrito pela equação:

$$2x = R^{12} \cdot x$$

$$R = \sqrt[12]{2}$$

$$R = 2^{\frac{1}{12}}. \quad (21)$$

Para encontrarmos o valor de R vamos fazer uso da ferramenta matemática chamada logaritmo, assim teremos:

$$\log(R) = \log\left(2^{\frac{1}{12}}\right)$$

$$\log(R) = \frac{1}{12} \cdot \log(2), \quad \text{dado } \log(2) = 0,301$$

$\log(R) = 0,025$, tirando o ant log teremos:

$$R = 1,059. \quad (22)$$

Para encontrarmos a frequência de cada nota musical é necessário sabermos o valor de x, visto que já encontramos o valor de R.

A nota musical “lá” da escala natural é universalmente conhecida como sendo a nota de referência para o cálculo das frequências das demais notas, é por isso que a nota “lá” é usada para fazer a afinação dos instrumentos musicais. Com o auxílio de um diapasão, instrumento utilizado para dar a nota e afinação de instrumentos, encontramos que a nota “lá” emite uma frequência em torno de 440 Hz, assim temos, de acordo com a tabela 2, a igualdade: $440 = R^9 \cdot x$. Como já conhecemos o valor de R, podemos calcular o valor de x, que é equivalente a 262,657 Hz. Substituindo os valores de R e x na tabela 2, teremos as frequências das notas musicais da escala cromática das teclas de um piano de acordo com a tabela 3 [7].

“dó”	“dó#”	“ré”	“ré#”	“mi”	“fá”	“fá#”
262,657	415,480	294,564	370,480	330,348	349,839	311,944
“sol”	“sol#”	“lá”	“lá#”	“si”	“DÓ”	
392,33	278,153	440	248,023	493,451	522,562	

TABELA 3. Frequências das notas musicais da escala cromática.

Se dividirmos a frequência da nota “DÓ” da oitava acima pela nota “dó” da escala natural, teremos um valor numérico aproximado igual a 2, que comprova que a escala das notas das oitavas acima possuem o dobro da frequência das notas da escala natural.

4.6 TIMBRE

O ouvido humano é capaz de diferenciar sons de diferentes instrumentos musicais, mesmo que estejam com as mesmas frequências e intensidades, é por isso que conseguimos distinguir facilmente um som emitido por um piano e um som emitido por um violino, isso acontece porque as vibrações emitidas pelo piano não ocorrem apenas nas cordas do mesmo, elas ocorrem também na madeira e nas colunas de ar e todas essas vibrações juntas dão o som característico do piano, de modo semelhante acontece com os demais instrumentos musicais, como cada instrumento vai apresentar uma forma de vibração diferente, a forma da onda também será diferenciada, conforme a figura 23.

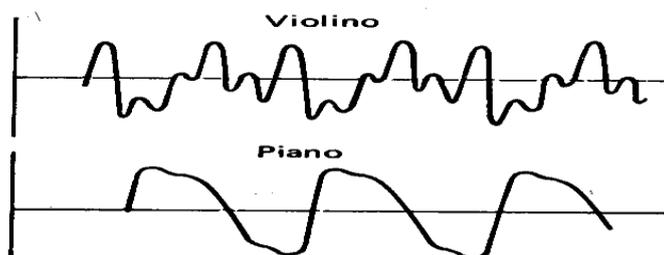


Figura 23. Representação da forma da onda de um violino a 440 Hz e de um piano com a mesma frequência. Como as ondas possuem oscilações diferentes o timbre de cada instrumento também é diferente.

Assim como os instrumentos musicais, a voz de cada pessoa tem sua origem nas vibrações, nesse caso o que vibra são as membranas que chamamos de cordas vocais, estas entram em processo vibratório quando entram em contato com o ar dos pulmões. Quando modificamos as tensões das cordas vocais estamos controlando as frequências emitidas e a combinação dessas frequências e vibrações determinam o timbre de cada voz, que é característico de cada pessoa. É por esse motivo que conseguimos distinguir uma pessoa da outra através da sua voz.

5.1 HISTÓRICO DA FLAUTA DOCE

A flauta doce é um tubo cilíndrico oco aberto em ambas as extremidades com sete orifícios na parte frontal e um orifício na parte de trás, estes orifícios servem para controlar as notas musicais emitidas a partir da abertura ou fechamento de cada um deles através dos dedos do flautista. Geralmente a flauta vem dividida em três partes: cabeça, corpo e pé, conforme figura 24.

Na cabeça da flauta encontramos o bico ou também chamado de bocal ou bissel, por onde o flautista encosta os lábios e a janela, que é a abertura lateral da flauta [8]. No corpo do instrumento têm-se sete dos oito orifícios, seis na parte da frente e um na parte de trás. No pé da flauta está o último orifício.

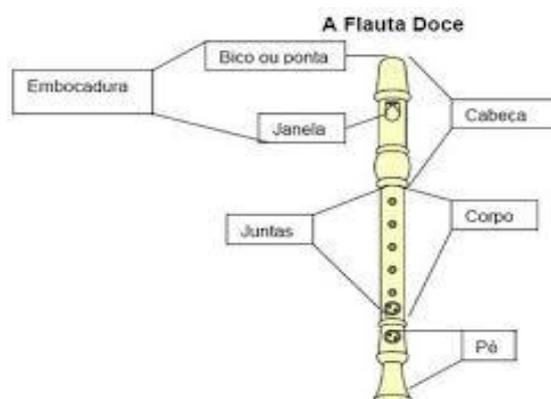


Figura 24. Flauta doce e sua divisão em três partes: cabeça, corpo e pé.

O instrumento que hoje chamamos de “flauta doce” é um dos mais antigos do mundo, principalmente por ser um instrumento que perpassa por muitos estilos e gêneros musicais, atualmente a flauta doce além de poder interpretar peças teatrais e musicais do período Barroco ela também tem seu papel importante na música popular brasileira, sua origem foi buscada nas primeiras etapas do desenvolvimento da humanidade quando o homem, por casualidade, soprou algum objeto oco através de uma abertura e percebeu a emissão de um som. Com o passar do tempo o homem foi aperfeiçoando este instrumento acrescentando-lhe orifícios. As primeiras flautas eram feitas com ossos de animais, conforme figura 25, e eram usadas para acompanhar rituais religiosos. Com o passar do tempo os ossos foram substituídos por bambu e depois por madeira mais resistente e atualmente, devido ao baixo custo e necessidade de produção em série, existem diversas marcas deste instrumento musical feitas com diversos tipos de materiais diferentes, onde o mais usado é a cerâmica, como mostra a figura 26.



Figura 25. Uma das primeiras flautas ossos de animais.



Figura 26. Flauta doce feita com cerâmica, modelo mais usado.

5.2 TÉCNICAS DO INSTRUMENTO

5.2.1 POSICIONAMENTO DOS DEDOS

Para um flautista ter um bom desempenho musical com o instrumento flauta doce é necessário que este conheça as técnicas básicas para se tocar a flauta, para isso é preciso conhecer o posicionamento adequado dos dedos em cada orifício e saber controlar a pressão de ar ao emitir uma nota musical.

As partes da flauta devem ser montadas encaixando os tubos, de forma que a janela da flauta fique posicionada para frente e o corpo do instrumento deve ficar com seus orifícios na direção da janela da flauta. O pé da flauta deve ficar com o orifício voltado para frente mas não alinhado aos demais, deve-se posicioná-lo um pouco mais para a direita.

A flauta deve ser apoiada no lábio inferior do flautista, enquanto que o lábio superior envolverá o bocal. Os lábios devem estar levemente tensionados para que o ar não escape durante o sopro.

A mão esquerda deve segurar a flauta doce na parte superior do corpo da mesma, enquanto que a mão direita deve segurar a parte inferior. Com a mão esquerda use o polegar para abrir e fechar o orifício de trás do instrumento. Ainda com a mão esquerda posicione o dedo indicador no primeiro orifício da parte frontal (a contar de cima para baixo), o dedo médio no segundo orifício e o dedo anelar no terceiro orifício.

Com a mão direita posicione o dedo indicador no quarto orifício da flauta, o dedo médio no quinto orifício, o dedo anelar no sexto e o dedo mínimo no último orifício do instrumento, conforme mostra a figura 27. O polegar da mão direita servirá para sustentar a flauta na parte de trás, para evitar que ela se desequilibre e caia das mãos do flautista.



Figura 27. Representação da maneira como se devem posicionar os dedos nos orifícios da flauta doce.

5.2.2 POSICIONAMENTO CORPORAL

A postura do flautista é muito importante para que o som saia afinado, para isso é necessário que os músculos estejam relaxados o máximo possível. O diafragma precisa estar ereto para proporcionar um bom processo de respiração que é dividido em duas partes: inspiração e expiração.

A inspiração acontece quando sugamos ar para dentro do nosso organismo, ao realizar este procedimento nossa caixa torácica se expande e nossos pulmões se enchem, em seguida temos a expiração, onde o ar começa a ser liberado fazendo com que os músculos passem de um estado de relaxamento para o de tensão.

O segredo para uma sonoridade consistente e uniforme está no ato da respiração. Durante o processo de desenvolvimento sonoro na flauta doce, devemos puxar o ar pela boca e soltá-lo pelo nariz, de forma pausada. Esse procedimento deve ser capaz de combinar as duas técnicas de forma a conseguirmos uma sustentação duradoura da coluna de ar, relaxamento da garganta e controle da quantidade de ar que entrará e sairá dos nossos pulmões. Saber relacionar esses fatores é de fundamental importância, pois dependendo da duração da nota musical tocada necessitaremos de uma quantidade grande ou pequena de emissão ar.

Para treinarmos a emissão da sonoridade juntamente com a respiração adequada iremos trabalhar a técnica da sílaba TU. Sem a flauta doce fale TU de forma lenta e calma. Agora fale várias vezes seguidas: tu, tu, tu, tu, tu, tu, tu. Experimente falar uma única vez e de forma demorada: tuuuuuuu. Agora tente fazer o mesmo movimento da boca, desde o início, porém sem pronunciar a palavra TU. Coloque a flauta doce na boca e faça o mesmo procedimento, fale: tu. Depois faça sem falar a palavra, só emitindo o ar [9].

Essa técnica é usada para emissão da nota musical, sempre que uma nota for tocada devemos soprar o bisco da flauta emitindo a sílaba “TU”

O flautista pode tocar a flauta doce sentado ou em pé, para cada situação há um posicionamento corporal adequado.

5.2.2.1 TOCANDO A FLAUTA DOCE SENTADO

Disponha de uma cadeira confortável e sem braços laterais, de preferência, sente-se na ponta de forma a deixar suas costas retas e sem encostar-se ao apoio da cadeira. Faça um movimento circular de dentro para fora com os ombros, com o objetivo de relaxar os músculos dos braços e pescoço.

Os cotovelos não devem estar muito próximos ao corpo, o ideal seria afastá-los cerca de 10 cm de distância, para que você possa ter agilidade na hora de posicionar os dedos no ato da mudança das notas musicais.

5.2.2.2 TOCANDO A FLAUTA DOCE EM PÉ

Para tocar a flauta doce em pé você deve se equilibrar, para isso o posicionamento adequado dos pés é indispensável, estes não devem estar muito próximos, você deve afastá-los cerca de 15 cm.

Deixe suas costas retas e não permita que seu corpo se incline para frente ou para trás. Seus ombros devem estar levemente abaixados, para evitar tensão muscular nessa região. Ao tocar em pé, o flautista deve ter de elevar um pouco mais a flauta, pois se o instrumento ficar abaixado demais o polegar da mão direita perde a função de sustentação e os demais orifícios serão apertados com a finalidade de “segurar” a flauta e não de emissão nota musical, que é o nosso objetivo.

5.3 PRIMEIRAS NOTAS MUSICAIS

Usaremos uma legenda para começamos a tocar a flauta doce, faremos a utilização de dedilhados (notas musicais desenhadas na forma do posicionamento dos dedos, por isso recebe este nome), que consiste em um desenho retangular (que simboliza o tubo da flauta) contendo sete orifícios na parte de dentro e um orifício na parte superior, porém na lateral. Os orifícios representados na parte interior do retângulo simbolizam os orifícios do tubo da flauta doce que estão voltados para frente, na direção da janela do instrumento, enquanto que o orifício da lateral do retângulo simboliza o orifício da parte de trás do tubo da flauta doce.

Quando os orifícios do dedilhado aparecerem totalmente preenchidos o flautista deve fechar com a polpa dos dedos o mesmo orifício da flauta doce a que ele se refere, os orifícios do dedilhado que estiverem sem preenchimento devem ficar abertos e os orifícios que estiverem parcialmente preenchidos devem ser metade fechados e metade abertos, conforme mostra a figura 28.

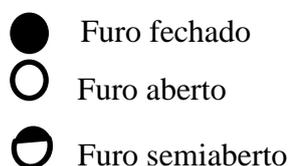


Figura 28. Representação esquemática dos orifícios da flauta doce. Os orifícios que aparecerem preenchidos fazem referência aos orifícios da flauta doce que teremos que fechar com a polpa dos dedos, os que estiverem sem preenchimento devem ficar abertos e os que estiverem parcialmente preenchidos devem ficar metade abertos e metade fechado.

5.3.1 NOTAS MUSICAIS COM A MÃO ESQUERDA

As primeiras notas musicais serão feitas com a mão esquerda, a primeira delas é a nota: “si”. Cubra o orifício de trás com o polegar e com o dedo indicador cubra o primeiro orifício da parte superior da flauta, conforme o dedilhado da figura 29. Sopre suavemente lembrando-se de falar “tu”. Certifique-se de que os devidos orifícios estão totalmente fechados, se você deixar alguma brecha o som sairá chiado.



Figura 29. Representação do dedilhado da nota musical “si”, das notas naturais da primeira oitava. Esta é a nota mais aguda da escala musical.

Para tocar a segunda nota musical: “lá”, use o mesmo posicionamento da nota “si” e acrescente o dedo médio no segundo orifício da flauta doce, observe a figura 30.

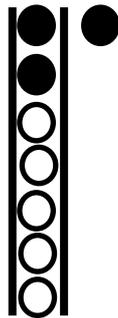


Figura 30. Representação do dedilhado da nota musical “lá”.

Para a terceira nota musical: “sol”, use o mesmo posicionamento da nota “lá” e acrescente o dedo anelar no terceiro orifício, conforme a figura 31.

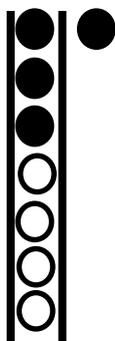


Figura 31. Representação do dedilhado da nota musical “sol”.

A quarta nota musical a ser tocada: “DÓ”, faz parte da segunda oitava das notas musicais. A escrita desta nota deve ser em letra maiúscula, pois indica que ela é uma nota mais alta, poderia também ser representada com um apóstrofo no canto superior direito da nota e com a escrita em minúsculo (dó').

Para a execução desta nota musical cubra o orifício de trás com o polegar e em seguida, coloque o dedo médio no segundo orifício da flauta doce, o dedilhado desta nota musical é representado na figura 32.

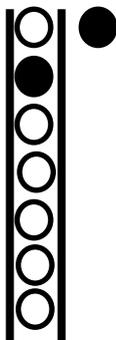


Figura 32. Representação do dedilhado da nota musical “DÓ”. Esta nota possui o dobro da frequência da nota “dó” da escala natural

A quinta e última nota musical a ser tocada com a mão esquerda: “RÉ”, também faz parte da segunda oitava das notas musicais. Por isso também é escrita em letra maiúscula.

Deixe o orifício de trás da flauta aberto e coloque o dedo médio no segundo orifício do instrumento, de acordo com a figura 33.

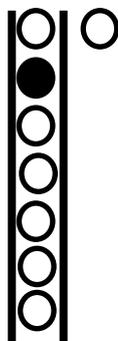


Figura 33. Representação do dedilhado da nota musical “RÉ”. Esta nota possui o dobro da frequência da nota “ré” da escala natural.

5.3.2 NOTAS MUSICAIS COM A MÃO DIREITA

A primeira nota musical que aprenderemos com a mão direita é a nota: “fá”, para tanto cubra o orifício de trás com o polegar, em seguida cubra os três primeiros orifícios com a ajuda da mão esquerda, agora com a mão direita coloque o dedo indicador no quarto orifício da sequência, conforme figura 34.

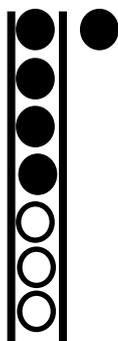


Figura 34. Representação do dedilhado da nota musical “fá”.

A segunda nota musical é a nota: “mi”. Para fazê-la siga o mesmo procedimento da nota musical “lá” e acrescente o dedo médio da mão direita no quinto orifício da flauta doce, conforme a figura 35.

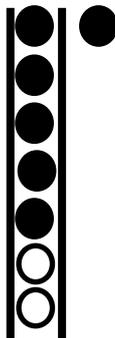


Figura 35. Representação do dedilhado da nota musical “mi”.

A terceira nota musical é a nota: “ré”. Para fazê-la siga o mesmo procedimento da nota musical “mi” e acrescente o dedo anelar da mão direita no sexto orifício da flauta doce, conforme a figura 36.

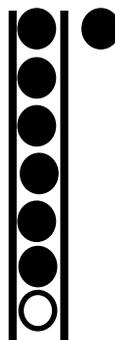


Figura 36. Representação do dedilhado da nota musical “ré”.

A próxima nota musical a ser tocada é a nota: “dó”. Para a execução desta nota musical todos os orifícios da flauta doce devem estar fechados, conforme a figura 37.

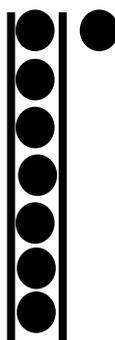


Figura 37. Representação do dedilhado da nota musical “dó”. Esta é a nota mais grave da escala nas notas naturais.

A nota musical seguinte faz referência a nota musical da oitava acima da nota “mi” da escala natural. Os orifícios da parte frontal da flauta receberam o mesmo posicionamento dos dedos da nota “mi”, a diferença se encontra no orifício de trás. Para a execução da nota “MI” da oitava acima, o orifício de trás deverá ficar parcialmente aberto, conforme o dedilhado da figura 38.

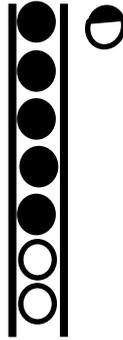


Figura 38. Representação do dedilhado da nota musical “MI”. Esta nota possui o dobro da frequência da nota “mi” da escala natural.

A próxima nota musical faz referência a nota musical da oitava acima da nota “fá” da escala natural. Os orifícios da parte frontal da flauta receberam o mesmo posicionamento dos dedos da nota “fá”, a diferença se encontra no orifício de trás. Para a execução da nota “FÁ” da oitava acima, o orifício de trás deverá ficar parcialmente aberto, conforme o dedilhado da figura 39.

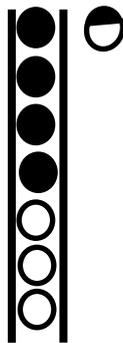


Figura 39. Representação do dedilhado da nota musical “FÁ”. Esta nota possui o dobro da frequência da nota “fá” da escala natural.

A nota musical representada a seguir faz referência a nota musical da oitava acima da nota “sol” da escala natural. Os orifícios da parte frontal da flauta receberam o mesmo posicionamento dos dedos da nota “sol”, a diferença se encontra no orifício de trás. Para a execução da nota “SOL” da oitava acima, o orifício de trás deverá ficar parcialmente aberto, conforme o dedilhado da figura 40.

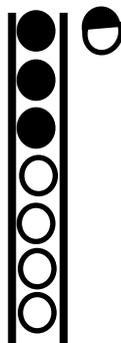


Figura 40. Representação do dedilhado da nota musical “SOL”. Esta nota possui o dobro da frequência da nota “sol” da escala natural.

A nota seguinte faz referência a nota musical da oitava acima da nota “lá” da escala natural. Os orifícios da parte frontal da flauta receberam o mesmo posicionamento dos dedos da nota “lá”, a diferença se encontra no orifício de trás. Para a execução da nota “LÁ” da oitava acima, o orifício de trás deverá ficar parcialmente aberto, conforme o dedilhado da figura 41.

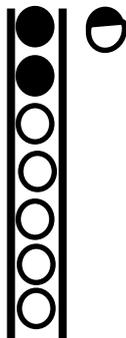


Figura 41. Representação do dedilhado da nota musical “LÁ”. Esta nota possui o dobro da frequência da nota “lá” da escala natural.

A última nota musical faz referência a nota musical da oitava acima da nota “si” da escala natural, porém, não será executada do mesmo modo como a nota “si” da escala natural, possuindo o orifício de trás parcialmente aberto. Para realizar a nota “SI” da oitava acima o dedo indicador da mão esquerda deve se posicionar no primeiro orifício do instrumento e o dedo médio da mão esquerda deve ficar no segundo orifício. Com a mão direita deve-se posicionar o dedo indicador no quarto orifício do instrumento e o dedo anelar no quinto orifício. O orifício de trás deve estar parcialmente fechado, conforme mostra o dedilhado da figura 42.

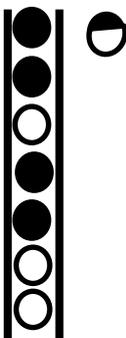


Figura 42. Representação do dedilhado da nota musical “SI”. Esta nota possui o dobro da frequência da nota “si” da escala natural

5.4 ACIDENTES MUSICAIS

Existem notas musicais que ficam entre duas notas naturais, conforme podemos observar na figura 22, as teclas pretas do piano estão dispostas de maneira que quando são apertadas tocam duas notas da escala natural ao mesmo tempo, esse tipo de nota musical é chamada de *acidente musical* e são de dois tipos: Sustenido, representado pela simbologia (#), que tem a função de deixar a nota musical mais AGUDA que a nota natural e Bemol, representado pela simbologia (b), que tem a função de deixar a nota musical mais GRAVE que a nota natural.

Se observamos a figura 22 perceberemos que entre a nota “dó” e a nota “ré” da escala natural possui uma tecla preta referente aos acidentes musicais bemol e sustenido. O acidente “dó#” deixa a nota “dó” mais aguda, enquanto que o acidente “réb” deixa a nota “ré” mais grave, como temos apenas uma tecla preta para ambos os acidentes podemos dizer que a tecla em questão possui dois nomes: “dó# ou réb”, de maneira semelhante acontece com as demais teclas pretas. A tecla seguinte recebe o nome de “ré# ou mib”. Observe que não existe tecla preta entre as notas “mi” e “fá” e também não existe entre as notas “si” e “DÓ”, tudo porque não é permitido o acidente musical sustenido nas notas “mi” (no lugar de “mi#” temos o “fá#”) e “si” (no lugar de “si#” temos o “dó#”), da mesma maneira como não é permitido o acidente musical bemol na notas “fá” (no lugar de “fáb” temos “mib”) e “dó” (no lugar de “dób” temos “sib”), é por isso que entre as notas “fá” e “sol” a tecla preta recebe o nome de “fá# e mib”.

Na flauta doce também ocorrem os mesmos acidentes musicais, observe a figura 43.

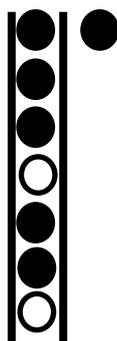


Figura 43. Dedilhado de forquilha referente aos acidentes musicais fá# ou solb.

A nota musical representada na figura 43 possui os três primeiros orifícios fechados o quarto orifício aberto. No tópico 5.3 vimos as notas musicais referentes ao instrumento flauta doce e de acordo com o dedilhado da figura 43 temos que os três primeiros orifícios da flauta doce, quando fechados, representam a nota musical “sol”. Se os quatro primeiros orifícios estiverem fechados a referencia será à nota “fá”. O acidente musical em destaque mostra os três primeiros orifícios fechados e em seguida temos um estrangulamento no quarto orifício, referente a nota “fá”, caso estivesse fechado, portanto, temos a junção de duas notas musicais: “fá” e “sol”.

Quando temos os três primeiros orifícios fechados e em seguida um orifício aberto, o ar que ejetamos no tubo da flauta vai percorrer os três orifícios fechados e escapar pelo quarto orifício aberto provocando uma mudança no comprimento L da coluna de ar no interior do tubo, deixando-o menor do que realmente deveria ser, o que faz a frequência aumentar. Aumentar a frequência é tornar o som mais agudo, como o acidente musical sustenido é o responsável por deixar a nota mais

aguda que a natural dizemos, então, que o nome desse acidente é o nome da nota cujo orifício está aberto com o acréscimo do símbolo #, assim temos a nota “fá#”(lê-se “fá sustenido”).

Anterior ao primeiro orifício aberto temos uma nota referente a nota musical “sol”, uma parte do ar dentro do tubo vai escapar pelo quarto orifício mas outra parte dele vai percorrer a extensão do tubo para varrer os orifícios 5 e 6, que estão fechados, fazendo com que a coluna L de ar se estenda. Aumentar o comprimento da coluna de ar é diminuir a frequência da nota musical emitida, deixando seu som mais grave que o natural, característica do acidente musical bemol. Dizemos, então, que o nome desse acidente é o nome da nota cujos orifícios estão fechados (antes do primeiro estrangulamento) com o acréscimo do símbolo (b), assim temos a nota “solb”(lê-se “sol bemol”).

Do mesmo modo como vimos para a tecla preta do piano, na flauta esses dois acidentes compõem uma nota apenas e esta nota recebe dois nomes: “fá# ou solb”.

De maneira semelhante acontecerá para as notas musicais seguintes, representadas na figura 44 (a) e 44 (b).

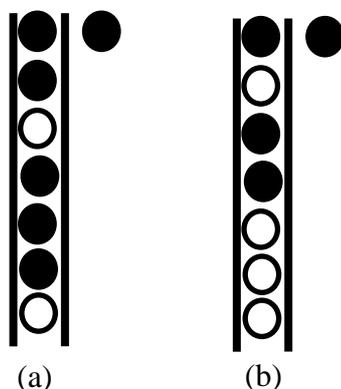


Figura 44. (a) Dedilhado de forquilha referente ao acidente musical “sol# ou lab”. (b) Dedilhado de forquilha referente ao acidente musical “la# ou sib”.

Na figura 44(a) temos as notas fechadas, anterior ao orifício aberto, referente às notas “lá”, como a nota em destaque é seguida de um estrangulamento, temos seu comprimento L esticado tratando-se, portanto, de uma nota bemol, logo temos: “lab”.

O orifício aberto é referente a nota musical “sol” e por estar aberto o ar tende a escapar, fazendo o comprimento do tubo nesta região diminuir tratando-se, portanto, de um acidente musical do tipo sustenido, assim temos: “sol#”. A nota musical em questão recebe os nomes: “sol# ou lab”.

De forma semelhante para a figura 44(b), temos o nome do acidente musical como sendo: “la# ou sib”.

Os três acidentes musicais vistos são para as notas da primeira oitava, existem acidentes musicais para as notas da segunda oitava ou oitava acima e serão vistas de forma direta na no tópico seguinte.

5.5 DEDILHADO DAS NOTAS MUSICAIS NA FLAUTA DOCE

Todas as notas musicais** vistas até o presente momento estão disponíveis na figura 45, constando as notas naturais e as notas da primeira oitava acima referentes às sete notas da escala natural, bem como os acidentes musicais das notas naturais e os acidentes musicais da oitava acima.

** Notas musicais, adaptadas para flauta doce, da 9ª sinfonia de Beethoven e Garota de Ipanema, disponível em APÊNDICE B.

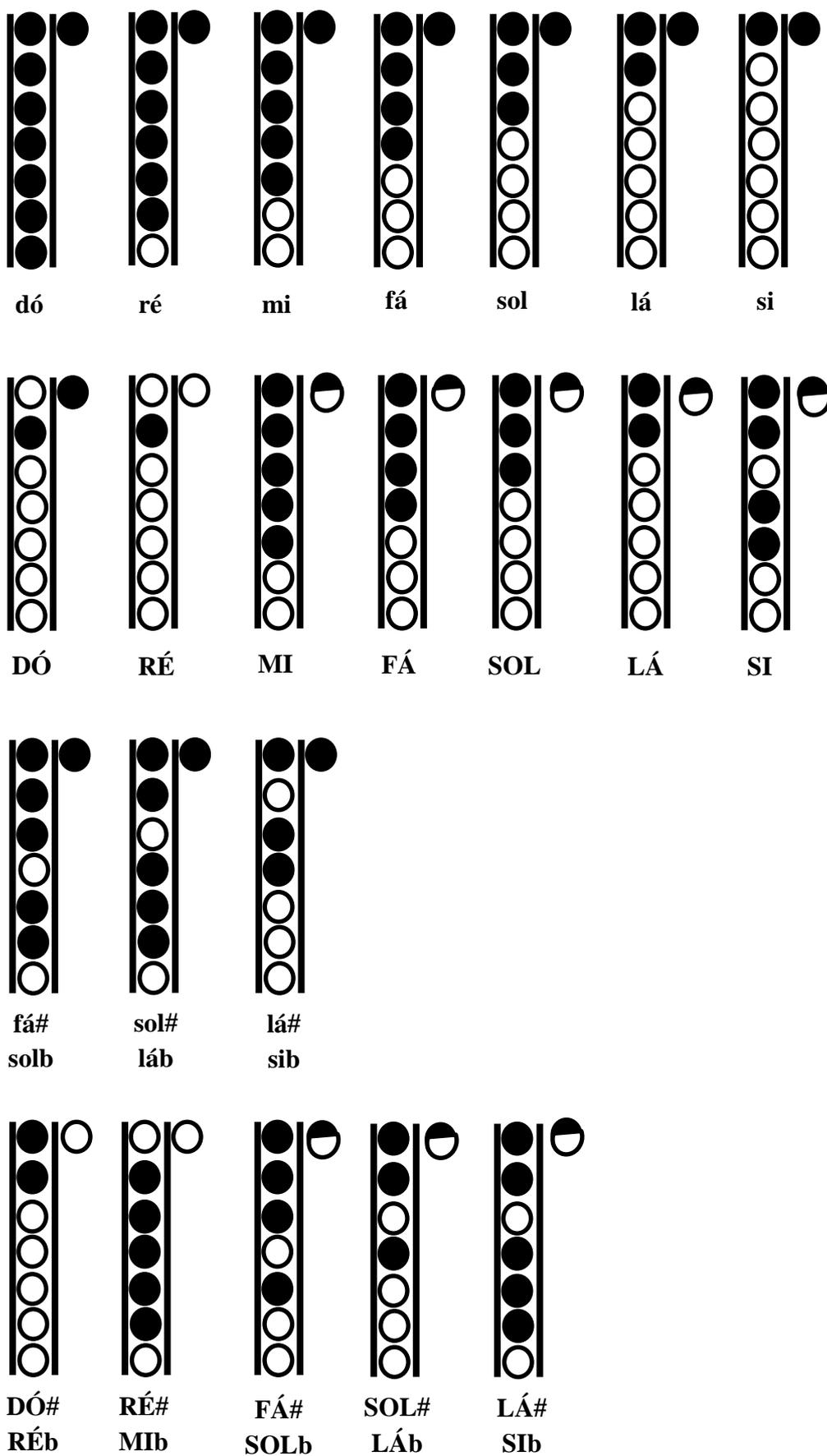


Figura 45. Demonstração do dedilhado das notas musicais na flauta doce.

5.6 LIMPEZA DA FLAUTA

Ao soprar o bocal da flauta doce, deixamos uma grande quantidade de saliva que se acumula no interior do tubo, essa saliva interfere na qualidade do som e na afinação do instrumento, para tanto, é necessário saber limpar corretamente a flauta doce.

A primeira etapa é fecharmos a janela da flauta com o polegar e assoprar o mais forte possível no bisel, assim a saliva presa no bico da flauta irá descer, em seguida pegamos a pequena vareta, acessório adicional que vem juntamente com a flauta para a limpeza do instrumento, e com uma flanela secamos o tubo por dentro.

Uma vez por semana devemos desmontar a flauta e lavá-la em água corrente, para que toda a sujeira acumulada no interior do tubo seja retirada, após a lavagem devemos secar o tubo por dentro e por fora.

Nas juntas (encaixe de cada peça) da flauta, devemos, pelo menos uma vez por mês, passar produtos que evitem o ressecamento das peças, como vaselina ou alguma pasta oleosa, sem esse cuidado as juntas irão endurecer e será praticamente impossível desmontar ou girar as partes da flauta após um determinado tempo de uso.

5.7 A FÍSICA NA FLAUTA DOCE:

Tudo o que nos cerca está envolto pelo fluido chamado *ar*, dentro do tubo da flauta doce ele também existe e ao entrar em movimento no interior do instrumento o ar pode sofrer variações de diversas formas: devido a variação da área da secção transversal do tubo da flauta, os níveis e desníveis entre a extremidade de entrada e saída do ar e também devido a variação de pressão que o movimento vai provocar. Esta camada de ar pré-existente possui uma energia mecânica dada por $E_m = E_c + E_p$ (E_c é a energia cinética e E_p é a energia potencial), quando o flautista encosta os lábios no bocal da flauta e através dele sopra ar dos seus pulmões para o interior do tubo o ar ejetado vai escoar com uma velocidade constante e esse deslocamento vai provocar uma intensidade de força nas paredes da superfície, o que chamamos de pressão, quando isso acontece surge uma movimentação das moléculas, estas se agitam para frente e para trás em torno do seu ponto de equilíbrio. Essa oscilação provoca uma variação de pressão, a zona de maior pressão é chamada de zona de compressão, onde a massa específica de ar é mais elevada e as moléculas estão mais próximas uma das outras. A zona de menor pressão é chamada de zona de rarefação, onde a massa específica é menos elevada e as moléculas estão mais afastadas, conforme podemos observar na figura 46.

De maneira simplificada podemos dizer que o ar ejetado pelos lábios do flautista “empurra” o ar pré-existente e ao empurrá-lo o ar ejetado provoca uma zona de pressão no ar do interior do tubo e deixa para trás uma zona de menor pressão, que é a zona de rarefação.

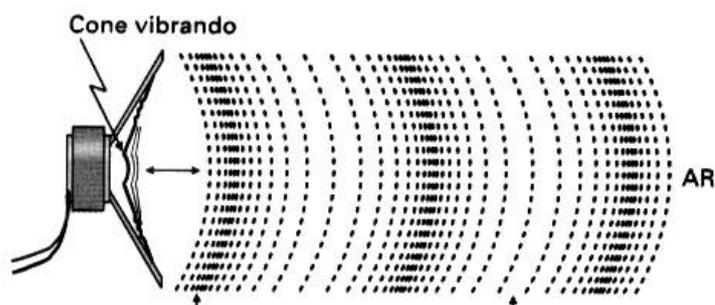


Figura 46. Movimentação das moléculas de ar geradas pela vibração de um auto falante, as linhas verticais mais próximas são referentes a zonas de compressão e as mais afastadas de rarefação.

O processo de compressão e rarefação faz com que seja liberada uma grande quantidade de energia e essa energia acumulada provoca uma expansão do ar, por causa desta expansão o ar é jogado para fora da flauta doce através do pé do instrumento. Podemos perceber que o ar ao entrar pelo bocal e sair pelo pé da flauta percorreu uma trajetória em linha reta, o que chamamos de *trajetória retilínea*.

Se pegarmos a cabeça da flauta doce e olharmos para a janela (orifício que separa a parte interna da parte externa) vamos perceber que nela há um pequeno corte diagonal, conhecido como *lábio*. O ar ejetado pelo flautista passa pelo bocal da flauta e se dirige até o lábio, ao chegar até ele o fluxo de ar é dividido em dois, conforme observamos na figura 47, uma parte adentra o tubo provocando compressão e rarefação, como já foi visto, e a outra parte desse fluxo é liberada para a parte exterior do instrumento. O turbilhamento sofrido pelo ar vai fazer com o mesmo seja alternadamente jogado para fora e para dentro do tubo, fazendo com que a coluna interna de ar origine uma onda longitudinal que se propaga no interior do instrumento, é essa oscilação que gera o som na flauta doce.

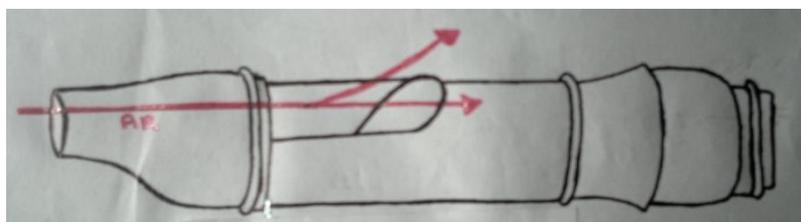


Figura 47. Divisão do ar ao chegar na abertura da flauta doce chama lábio.

A onda originada vai percorrer o tubo até sua extremidade final e ao atingir o ponto extremo ocorre uma reflexão, a onda refletida vai se propagar pelo tubo no sentido contrário à onda anterior e seu comportamento vai depender das extremidades do tubo, se fechado ou aberto.

A flauta doce é um tubo ressonador cuja extremidade inferior e superior são abertas, porém, quando o flautista encosta os lábios na extremidade superior ele faz com que esta abertura se torne fechada, portanto, a flauta doce vai se comportar como um tubo aberto em uma extremidade e fechado na outra.

Vamos considerar primeiramente a extremidade fechada do tubo. A onda que é refletida da extremidade aberta se propaga ao longo do tubo e ao atingir a extremidade fechada o ar é comprimido na barreira existente, portanto, nessa extremidade a pressão é a mesma pressão ambiente p_0 e temos a formação de um nó de pressão [11], que causa uma rarefação. Se uma rarefação incide na extremidade fechada, será refletida retornando pelo tubo na forma de compressão, semelhante ao que acontece na propagação de uma onda refletida fixa de uma corda, que é refletida sem mudança de fase.

Na extremidade aberta temos a formação de um ventre de pressão [11], que causa uma compressão, a onda refletida vai se propagar da mesma maneira como uma onda refletida em uma extremidade móvel de uma corda, com mudança de fase, assim a onda refletida é uma onda de rarefação, portanto, no interior do tubo haverá uma disposição de nós e ventres sucessivos que irão variar de acordo com o número de harmônicos formados em cada som, conforme figura 48.

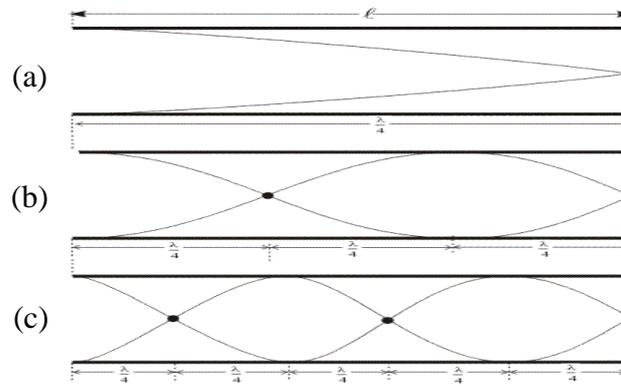


Figura 48. Representação esquemática do tubo da flauta doce, a extremidade fechada representa o bocal da flauta, onde a vibração do ar é nula e temos, portanto, um nó. Na extremidade aberta ocorre vibração livre do ar, portanto há a formação de um ventre. Observe as diferenças nas vibrações e nos comprimentos de onda para cada modo de vibração.

A frequência da fonte é selecionada por um valor particular que depende do comprimento do tubo, a partir daí será formado um padrão de onda estacionária ao longo da tubulação e haverá uma condição de ressonância. A frequência mais baixa, ou também chamada de frequência fundamental, será um padrão para as demais frequências, que deverão ter valores inteiros e múltiplos do valor dessa frequência-guia.

Na figura 48, são mostradas as variações de pressão das ondas estacionárias no interior de um tubo [12]. No primeiro modo de vibração, figura 48(a), o comprimento L do tubo é igual a $\lambda/4$, onde λ é o comprimento da onda gerada pelo flautista, portanto, o comprimento de onda para esse primeiro modo vibratório é: $\lambda = 4L$ e a frequência correspondente será dada pela equação da velocidade da onda: $v = \lambda \cdot f$, onde λ será o comprimento de onda encontrado para esse primeiro modo, assim temos o comprimento do tubo, o comprimento de onda e sua frequência, respectivamente, iguais a :

$$L = 1 \cdot \frac{\lambda_1}{4}, \quad (23)$$

$$\lambda_1 = 4 \cdot \frac{L}{1}, \quad (24)$$

$$f_1 = n \frac{v}{4L}. \quad (25)$$

No modo vibracional seguinte, figura 48(b), o comprimento da onda se modifica de forma que agora o comprimento do tubo terá valor: $L=3\lambda/4$, com isso o seu comprimento de onda será igual a $4L/3$. Dando continuidade a série podemos escrever uma expressão geral para o comprimento de onda, como sendo igual a :

$$\lambda_n = 4 \cdot \frac{L}{n}, \quad n = 1,3,5... \quad (26)$$

Se estivéssemos diante de um tubo com ambas as extremidades abertas, a corrente de ar seria direcionada contra a borda de uma delas e poderia haver formação de ondas estacionárias no tubo, nesse caso a coluna de ar ressoaria com frequência natural de vibração. No caso da flauta doce uma de suas extremidades é fechada, o que faz com que a frequência fundamental seja reduzida a metade em relação ao seu valor para um tubo aberto de mesmo comprimento, por isso serão formados apenas harmônicos ímpares.

De acordo com a equação 25, a frequência das notas musicais naturais emitidas possui uma relação inversa com o comprimento L do tubo, de forma que quanto menor o comprimento do tubo maior será a frequência da nota musical e, portanto, teremos um som agudo. Enquanto que se o comprimento do tubo for maior que o da nota musical anterior, sua frequência diminuirá e o som se tornará mais grave.

Vamos utilizar apenas as notas musicais da escala natural para determinarmos se o som emitido por cada uma delas é mais grave ou mais agudo que o da nota anterior, para isso vamos utilizar os dedilhados da figura 49.

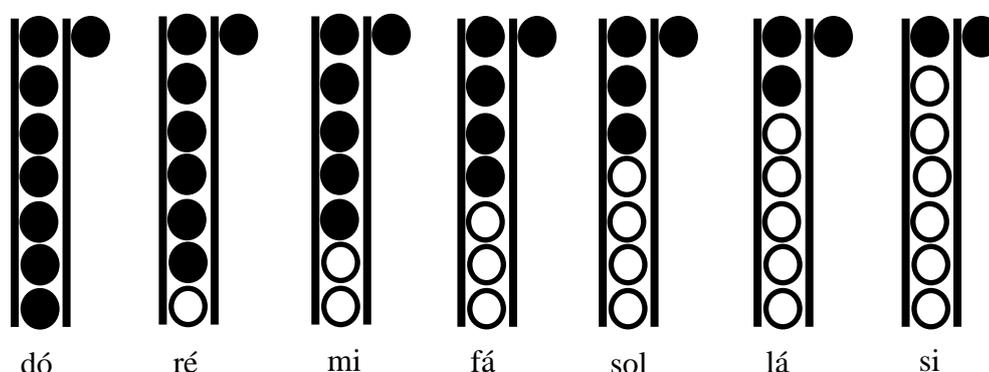


Figura 49. Dedilhado das notas musicais da escala natural.

Observe que o comprimento L da coluna de ar é maior na nota musical natural “dó”, de acordo com a equação 25 essa nota deve possuir a menor frequência da escala natural e, portanto, seu som deverá ser o mais grave da escala, por sua vez a nota “si” possui um pequeno comprimento L da coluna de ar, o que a deixa com uma frequência alta e um som mais agudo.

Essa relação entre frequência e comprimento L do tubo explica o porquê da existência de flautas de diversos tamanhos, como podemos observar na figura 50.



Figura 50. Tipos de flautas diferentes de fabricação da YAMAHA. Classificadas da esquerda para direita como: soprano (afinada em fá, possui um som extremamente agudo, é a flauta doce mais usada em concerto), soprano (afinada em dó), alto (afinada em fá), tenor (afinada em dó) e bajo (afinada em fá). Observação: A afinação de cada flauta é a nota mais grave que ela pode atingir.

A flauta de menor tamanho, como é o caso da flauta sopranino, atinge uma frequência muito alta e o som que dela é extraído é bastante agudo, enquanto que a flautas de maior tamanho, como é o caso da flauta doce tenor, atinge uma frequência muito baixa o que a faz produzir um som muito grave.

Para calcularmos o número de harmônicos emitidos por cada nota musical natural, precisaremos saber a distância que cada uma delas têm em relação a janela do instrumento, essas medidas serão feitas com o auxílio de uma régua e da flauta doce: YAMAHA soprano/descant recorder . YRS – 24B, conforme mostra a tabela 4.

NOTA MUSICAL NATURAL	COMPRIMENTO DO TUBO EM CENTÍMETROS.	COMPRIMENTO DO TUBO EM METROS.
Dó	24,01	0,2401
Ré	21,75	0,2175
Mi	19,5	0,195
Fá	17,25	0,1725
Sol	15	0,15
Lá	13	0,13
Si	11	0,11

TABELA 4. Relação entre as notas musicais da escala natural e o comprimento do tubo referente a cada nota emitida.

Substituindo essas informações na equação 25, teremos a frequência de cada nota musical natural em função do número de harmônicos n , de acordo com a tabela 5. Lembrando que a velocidade do som no ar é igual a 331 m/s.

Nota musical natural	Frequência em função do numero de harmônicos n (Hz)
dó	n. 344,6
ré	n. 380,4
mi	n. 424,3
fá	n. 479,7
sol	n. 551,6
lá	n. 636,5
si	n. 752,2

TABELA 5. Frequência das notas musicais medidas na flauta doce YAMAHA soprano/descant recorder . YRS – 24B

A arte é um elemento motivacional, que é alimentada pelo lúdico. O indivíduo que expressa sua arte através da música lança mão de suas próprias interpretações acerca do mundo em que vive e quando entrelaçamos os saberes da Física com a arte musical, estamos influenciando e transformando novos conceitos.

Nesta monografia vimos que o som produzido com o instrumento musical flauta doce constitui uma referência fundamental para o ensino da acústica tanto no ensino básico quanto no ensino superior. Com efeito, nos processos realizados fica demonstrado que a Física que nos cerca vai além da Física que estudamos em sala de aula, evidenciando assim que é possível relacionar saberes de diversas áreas para a compreensão de um fenômeno específico. Abrimos espaço para a discussão dos fenômenos ondulatórios, bem como os fenômenos acústicos envolvidos no instrumento e analisamos as equações de uma onda sonora em um fluido como o ar e vimos a relação entre as frequências musicais e os comprimentos da coluna de ar em cada nota emitida

Acreditamos que a presente proposta de unificação do binômio Física-Música é uma contribuição para o refinamento dos modelos didáticos dos fenômenos acústicos no ensino de Física.

BIBLIOGRAFIA

[1]-Verbete flauta. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Flauta>

[2]-Música – origem: sons e instrumentos. In: UOL EDUCAÇÃO. Disponível em: <http://educacao.uol.com.br/disciplinas/artes/musica---origem-sons-e-instrumentos.htm>

[3]-Vídeo aula “SUPER INTERESSANTE COLEÇÕES – O CORPO HUMANO - OUVIDO”. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=61xR5DJ3PvU>

[4]-Ritmo musical. In: INFO ESCOLA: Navegando e aprendendo. Disponível em: <http://www.infoescola.com/musica/ritmo-musical/>

[5]-Dissertação apresentada ao programa de pós – graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo, aluno Julherme Francisco Piffer, com o tema: “Estudo acústico de tubos de dimensões idênticos e materiais diferentes utilizando bocais de flauta doce e flauta transversal”. Ano de 20011, pág. 41.

[6]-Qualidades fisiológicas do som disponível no livro:
Conexões com a Física ; Blaidi Sant’Anna – 1.ed – São Paulo: Moderna,2010. Pág. 405.

[7]-Frequência das notas musicais. In: Cardicas: Música e matemática. Disponível em: <http://www.profcardy.com/cardicas/musical.php>

[8]-Monografia apresentada ao programa de graduação em Física Licenciatura na Universidade Federal do Rio de Janeiro, pela aluna Nora de Oliveira Paoliello com o tema: “A flauta doce e sua dupla função como instrumento artístico e de iniciação musical”, no ano de 2007, pág. 5. Disponível em: <http://www.domain.adm.br/dem/licenciatura/monografia/noarapaoliello.pdf>

[9]-Vídeo aula “APRENDA MÚSICA – APRENDA FLAUTA DOCE – BÁSICO”. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=v3Ax7kPDPZE>

[10]-Equação de Bernoulli disponível no livro:
Resnick Robert; Halliday David; Krane Kenneth – 5 ed. Volume 2 – Rio de Janeiro, 2007, pág. 66.

[11]-Tubos sonoros abertos e fechados. Disponível no livro:
Conexões com a Física/Blaidi Sant’Anna – 1.ed – São Paulo: Moderna,2010, pág. 411.

[12]-Ondas estacionárias disponível no livro:
Manual compacto de Física: ensino médio/Carminella Scarpelini ; Vinicius Barbosa Andreatta – 1.ed – São Paulo: Rideel, 2012, pág. 261.

[13]-Comprimento e frequência de uma onda que se propaga em um tubo aberto-fechado. Disponível no livro:
As faces da Física / Wilson Carron; Osvaldo Guimarães – São Paulo: Moderna, 1997, pág. 469.

LEITURAS COMPLEMENTARES.

- Portal de educação musical do Colégio Pedro II. Disponível em:

<http://www.portaledumusicalcp2.mus.br/>

- Iniciação a teoria musical: som e silêncio. In: música e alma. Disponível em:

<http://musicaealm.blogspot.com.br/2014/01/iniciacao-teoria-musical-som-e-silencio.html>

- A origem da palavra “música” e a musa Diana. In: Clube das confrarias. Disponível em:

<https://pt-br.facebook.com/clubedaconfraria/posts/327018294096290>

LINK DAS FIGURAS

Figura1: Musa grega Calíope. In: Centro de pesquisas da antiguidade. Disponível em:

<http://cpantiguidade.wordpress.com/2011/02/22/%E2%80%9Ccaliope%E2%80%9D-%E2%80%93-a-musa-grega-da-eloquencia/>

Figura 2: Musa grega Clio. In: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Clio>

Figura 3: Musa grega Érato. In: Mitologia universal. Disponível em:

<http://mitologia-universal.blogspot.com.br/2010/02/las-musas.html>

Figura 4: Musa grega Euterpe. In: Navega com tanogabo – mitologia. Disponível em:

<http://www.tanogabo.it/mitologia/greca/muse.htm>

Figura 5: Musa grega Melpômene. In: La navaja de Ockham mato el gato de Schorödiger. Disponível em:

http://timeisrunningout-leuconoe.blogspot.com.br/2010_12_01_archive.html

Figura 6: Musa grega Polímnia. Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Polimnia>.

Figura 7: Musa grega Terpsícore. In: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Terps%C3%ADcore>

Figura 8: Musa grega Tália. In: Charles W. Cushman photograph collection. Disponível em:
<http://webapp1.dlib.indiana.edu/cushman/results/detail.do?pnum=P09693>

Figura 9: Musa grega Urânia. In: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ur%C3%A2nia>.

Figura 10: Movimento harmônico simples de um corpo oscilante. In: Estudo dirigido de Física on-line sobre Movimento Harmônico Simples. Disponível em:
<http://www.fisica.ufpb.br/~mkyotoku/texto/texto5.htm>

Figura 11: Movimento ondulatório provocado por uma força em uma corda. In: E-Física: Ensino de Física on-line. Disponível em:
<http://efisica.if.usp.br/optica/universitario/ondas/intro/>

Figura 12: Composição de cristas e vales formados em uma corda. In: E-Física: Ensino de Física on-line. Disponível em:
http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/ondas/compr_onda_periodo_frequencia/

Figura 13: Repetição da propagação de um pulso de onda relacionado com o ciclo trigonométrico na função seno
- Autoria própria.

Figura 14: Oscilação de um ponto P ao longo de uma corda
- Autoria própria.

Figura 15: Interferência atuante em dois pulsos de ondas. In: Movimento ondulatório. Disponível em:
<http://www.if.ufrj.br/~bertu/fis2/ondas1/ondulatorio.html>

Figura 16: Interferência construtiva e destrutiva entre dois pulsos de ondas. In: Sou mais ENEM – Física. Disponível em:
<http://soumaisenem.com.br/fisica/oscilacoes-ondas-optica-e-radiacao/ondas-fenomenos>

Figura 17: Representação de uma onda estacionária com disposição de ventres e nós. In: Os fundamentos da Física. Disponível em:
http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2011/12/cursos-do-blog-termologia-optica-e_13.html

Figura 18: Harmônico fundamental de uma onda estacionária. In: Os fundamentos da Física. Disponível em:
http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2011/12/cursos-do-blog-termologia-optica-e_13.html

Figura 19: Relação entre o comprimento de uma corda e seus harmônicos correspondentes. In: Ciclo final. Disponível em:

<http://ciclofinal.blogspot.com.br/2011/09/cosmologia-o-multiverso-ii.html>

Figura 20: Representação esquemática do pavilhão auditivo. In: Música sacra e adoração. Disponível em:

<http://musicaeadoracao.com.br/55785/o-aparelho-auditivo/>

Figura 21. Representação esquemática das teclas de um piano com suas respectivas notas musicais.
- Autoria própria.

Figura 22: Escala cromática das teclas de um piano. In: Aulas de gaita.com. Disponível em:

<http://www.aulasdegaita.com/p/iniciante-ii.html>

Figura 23: Forma da onda de um violino e um piano a 440 Hz de frequência. In: Diário a bordo de oficina multimídia. Disponível em:

<http://susanasarmiento22.wordpress.com/2011/01/14/som-digital/>

Figura 24: Subdivisão da flauta doce em: cabeça, corpo e pé. In: Ibiubi beta: Busque, encontre. Disponível em:

<http://www.ibiubi.com.br/produtos/flauta-doce-presley-2-90-otimo-para-alunos-instrumentos-musicais+instrumentos-de-sopro+flautas/todaoferta/IUID18776580/>

Figura 25: Uma das primeiras flautas doce feitas com ossos de animais. In: Cronologia da flauta. Disponível em:

<http://edsonbeltrami.com/blog/cronologia-da-flauta/>

Figura 26: Flauta doce de cerâmica. In: Tok e stock – Joana Lira. Disponível em:

<http://www.novidadediaria.com.br/musica/instrumentos/fotos-de-flauta-doce>

Figura 27: Representação do posicionamento dos dedos para segurar a flauta doce. In: Spaceblog. Disponível em:

<http://handersonmenegardo.spaceblog.com.br/966024/Primeira-Aula-A-Posicao-das-Maos/>

Figura 28: Representação esquemática dos orifícios da flauta doce.

- Autoria própria.

Figura 29: Dedilhado da nota musical “si”, da escala natural.

- Autoria própria.

Figura 30: Dedilhado da nota musical “lá”, da escala natural.

- Autoria própria.

Figura 31: Dedilhado da nota musical “sol”, da escala natural.

- Autoria própria.

Figura 32: Dedilhado da nota musical “DÓ”, primeira oitava acima.

- Autoria própria.

Figura 33: Dedilhado da nota musical “RÉ”, primeira oitava acima.

- Autoria própria.

Figura 34: Dedilhado da nota musical “fã”, da escala natural.

- Autoria própria.

Figura 35: Dedilhado da nota musical “mi”, da escala natural.

- Autoria própria.

Figura 36: Dedilhado da nota musical “ré”, da escala natural.

- Autoria própria.

Figura 37: Dedilhado da nota musical “dó”, da escala natural.

- Autoria própria.

Figura 38: Dedilhado da nota musical “MI”, primeira oitava acima.

- Autoria própria.

Figura 39: Dedilhado da nota musical “FÁ”, primeira oitava acima.

- Autoria própria.

Figura 40: Dedilhado da nota musical “SOL”, primeira oitava acima.

- Autoria própria.

Figura 41: Dedilhado da nota musical “LÁ”, primeira oitava acima.

- Autoria própria.

Figura 42: Dedilhado da nota musical “SI”, primeira oitava acima.

- Autoria própria.

Figura 43: Dedilhado de forquilha da nota musical “fã#” ou “solb”.

- Autoria própria.

Figura 44 a: Dedilhado de forquilha da nota musical “sol#” ou “láb”.

- Autoria própria.

Figura 44 b: Dedilhado de forquilha da nota musical “lá#” ou “sib”.

- Autoria própria.

Figura 45: Dedilhados das notas musicais gerais referentes à flauta doce.

- Autoria própria.

Figura 46: Zona de compressão e rarefação gerada pela movimentação da molécula de ar de um auto falante. In: Info escola: navegando e aprendendo. Disponível em:

<http://www.infoescola.com/fisica/ondas-longitudinais/>

Figura 47: Divisão do fluxo de ar através do lábio da flauta doce, localizado na janela do instrumento.

- Autoria própria.

Figura 48: Disposição da coluna de ar atuante dentro do tubo da flauta doce. In: Só física. Disponível em:

<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Acustica/tubos2.php>

Figura 49: Dedilhado das notas musicais da escala natural.

- Autoria própria.

Figura 50: Tipos de flautas doce e seus variados tamanhos. In: BlogMax. Disponível em:

<http://www.mundomax.com.br/blog/tag/flauta-doce/>

APÊNDICE A

Notas musicais na flauta doce da música “A CASA” de Vinicius de Moraes.

mi – mi – fá – sol – mi
lá – lá – lá – sol – mi
sol – sol – sol – fá – ré
fá – fá – fá – mi - dó

mi – mi – fá – sol – mi
lá – lá – lá – sol – mi
sol – sol – sol – fá – ré
fá – fá – fá – mi - dó

DÓ – DÓ – DÓ – DÓ - lá
DÓ – DÓ – DÓ – DÓ – sol
sol – sol – sol – fá – ré
fá – fá – fá - mi

DÓ – DÓ – DÓ – DÓ - lá
DÓ – DÓ – DÓ – DÓ – sol
sol – sol – sol – fá – ré
fá – fá – fá - mi

mi – mi – fá – sol – mi
lá – lá – lá – sol – mi
sol – sol – sol – fá – ré
fá – fá – fá – mi – dó.

APÊNDICE B

Notas musicais na flauta doce da 9ª sinfonia de Ludwig Van Beethoven.

si – si – DÓ – RÉ – RÉ – DÓ – si – lá – sol – sol – lá – si – si – lá – lá

si – si – DÓ – RÉ – RÉ – DÓ – si – lá – sol – sol – lá – si – lá – sol – sol

lá – lá – si – sol – lá – si – DÓ – si – sol – lá – si – DÓ – si – lá – sol – lá – RÉ

si – si – si - DÓ – RÉ – RÉ – DÓ – si – lá – sol – sol – lá – si – lá – sol – sol

lá – lá – si – sol – lá – si – DÓ – si – sol – lá – si – DÓ – si – lá – sol – lá – RÉ

si – si – si - DÓ – RÉ – RÉ – DÓ – si – lá – sol – sol – lá – si – lá – sol – sol

Notas musicais na flauta doce da música: Garota de Ipanema de Antônio Carlos Jobin.

RÉ – RÉ – DÓ – si – si – lá – RÉ – RÉ
 DÓ – si – si – lá – RÉ – RÉ
 DÓ – si – si – lá – RÉ – RÉ
 DÓ – si – si – lá – DÓ – DÓ
 lá – lá – lá – lá – sol – si
 sol – sol – sol – sol – fá – sol

RÉ – RÉ – DÓ – si – si – lá – RÉ – RÉ
 DÓ – si – si – lá – RÉ – RÉ
 DÓ – si – si – lá – RÉ – RÉ
 DÓ – si – si – lá – DÓ – DÓ
 lá – lá – lá – lá – sol – si
 sol – sol – sol – sol – fá – sol

DÓ
 DÓ# - DÓ – sib – DÓ – sib - sol# - sib
 RÉ
 RÉ# - RÉ – DÓ – RÉ – DÓ – sib – DÓ
 MI
 FÁ – MI – RÉ – MI – RÉ – DÓ – RÉ
 MI – FÁ – SOL – sol – lá – si – DÓ – RÉ - RÉ#
 FÁ – fá – sol – lá – si – DÓ - DÓ# - RÉ.