

7- ONDAS NUMA CORDA

7.1- Conceitos Importantes

Neste capítulo estudaremos as ondas que se propagam numa corda. O melhor exemplo de tais cordas são aquelas dos instrumentos musicais. Falamos de instrumentos de cordas como o violão, ou o piano.

Devemos começar abordando os elementos dinâmicos e cinemáticos importantes quando abordamos tal tema. Começando por alguns parâmetros importantes quando da propagação de ondas. Os sons musicais dos instrumentos dependem essencialmente de três parâmetros.

Para entendermos o primeiro parâmetro, lembramos um fato corriqueiro. Antes de uma apresentação os instrumentistas afinam os seus instrumentos. No caso dos instrumentos de cordas, é possível afiná-los aumentando ou reduzindo a tensão agindo sobre as cordas ou a tensão agindo sobre uma corda. Isso é feito quando o instrumentista põe a mão na cravelha fazendo-a girar. Com isso, ele está aumentando ou reduzindo a tensão na corda.

Temos assim o primeiro elemento importante que é a tensão àquelas cordas estão submetidas (figura abaixo). Vamos designar por T a tensão sobre a corda. Este é elemento dinâmico mais importante.



Fig. 1- Instrumentos de corda.



Fig. 2- O violão.

No caso dos instrumentos de cordas precisamos levar em conta o comprimento das mesmas. O comprimento de uma corda será representado por L .

Outro elemento importante quando analisamos os sons musicais é a densidade de massa da corda. A densidade linear de massa designada por μ é definida pela relação

$$\mu = \frac{M}{L}.$$

Onde M é a massa total da corda.



Fig. 3- Cada corda é caracterizada pela sua densidade linear e pela tensão aplicada a ela.

A densidade linear é uma característica de uma corda. Admitiremos que ela é uniforme, ou seja, em cada ponto da corda nós temos a mesma densidade. Num piano, ou violão, as diferenças de densidades se revelam pelas diferenças do diâmetro da corda. As mais finas produzem sons mais agudos. As mais grossas produzem sons mais graves.



Fig. 4- Com a cravelha controlamos a tensão aplicada a uma corda. Com isso alteramos o som produzido.

No caso dos instrumentos de cordas, devemos levar em conta o comprimento das mesmas. O comprimento de uma corda será representado por L

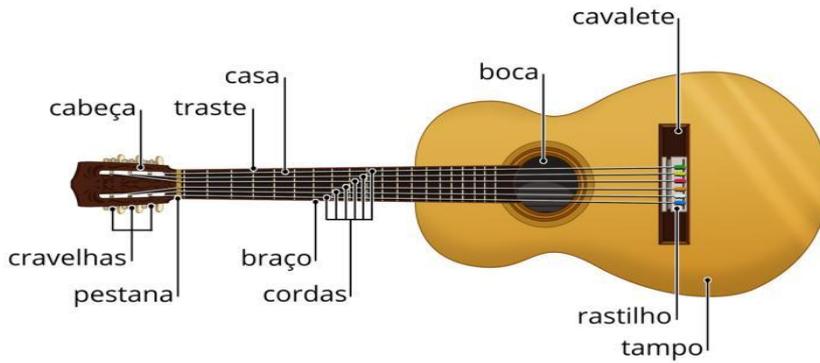


Fig. 5- Cordas de um violão. A densidade linear de cada corda é o produto da densidade volumétrica do material pela área da seção da corda. Para uma corda de náilon (densidade 1.2 g/cm^3) com raio de $0,3 \text{ mm}$, por exemplo, a densidade linear é $\mu = 3 \times 10^{-2} \text{ d/cm}$. Tensões típicas são da ordem de 100 N .

Como analisamos o movimento de ondas numa corda? Primeiramente, fazemos uso de um referencial cartesiano, ou seja, um eixo y , e um eixo x . A origem do referencial, no caso das cordas de instrumentos musicais será tomada no ponto onde ela está presa.

Um ponto qualquer sobre a corda é caracterizado por meio de duas coordenadas: a coordenada y e a coordenada x (figura abaixo).

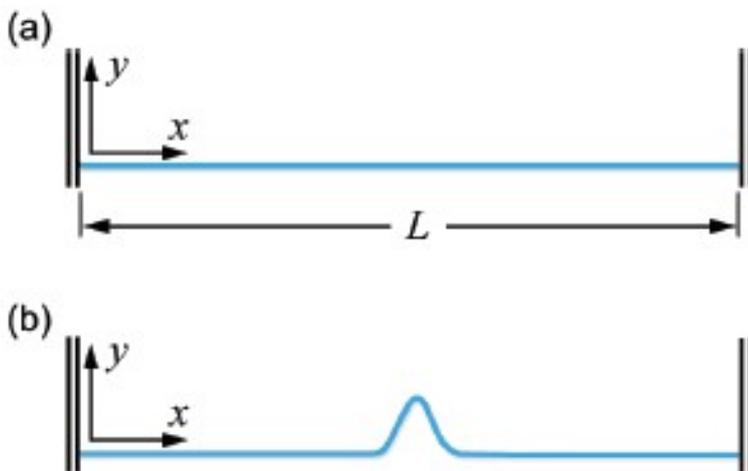


Fig. 6- (a) Corda tensionada horizontalmente entre duas paredes. (b) Corda após aplicação de um pulso.

Este fato, no entanto, só pode ser entendido a partir da equação de ondas cuja dedução escapa aos objetivos do curso que leva em conta a limitação do conhecimento da matemática necessária.

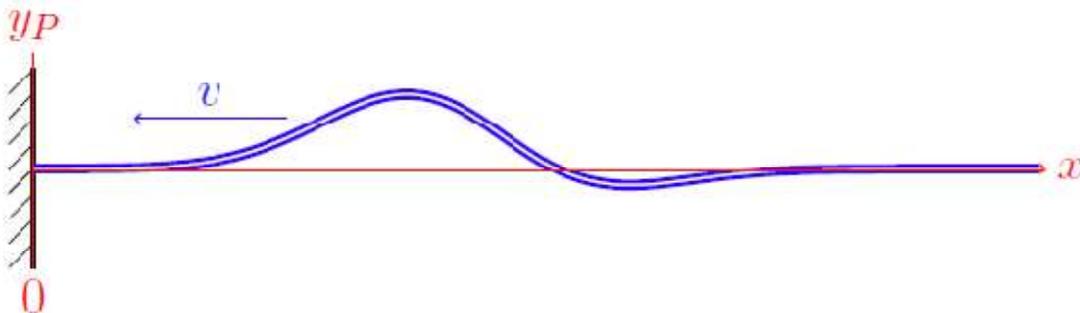


Fig. 7- Ondas são produzidas numa corda de violão, por exemplo.

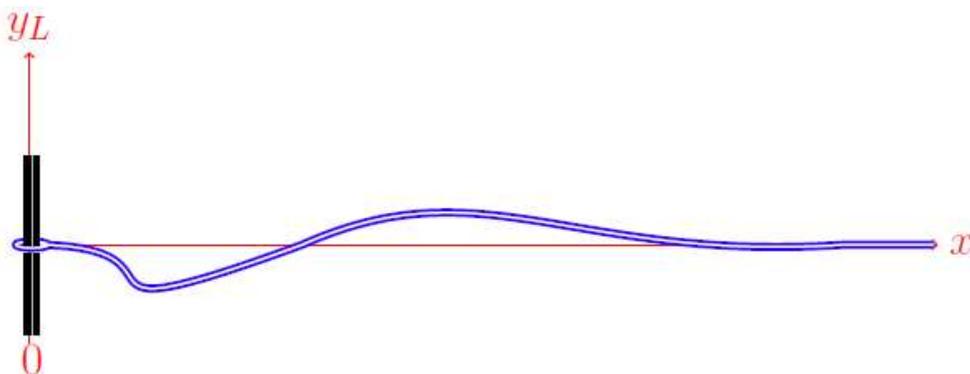
7.2- Reflexão de Pulsos

Uma situação de interesse é aquela na qual um pulso se propaga ao longo de uma corda e em algum ponto ela termina. Consideraremos três casos distintos. Ou seja, consideraremos as três possibilidades distintas e de grande interesse:

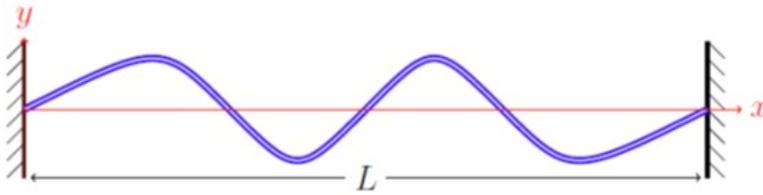
- 1- Uma das suas extremidades pode estar fixa. Ou seja, uma das extremidades está presa a um ponto. Vide figura.



- 2- Uma das extremidades pode se mover na vertical. Vide figura.



3- As duas extremidades estão fixas. Vide figura.



Tendo em vista a relevância deste último caso, em relação aos instrumentos musicais, este tema será abordado num capítulo, de número 10, no qual abordaremos as ondas estacionárias que se formam quando isso acontece.

A questão de interesse, e á qual nos dedicaremos a seguir, é o de entender o que acontece quando um pulso ou uma onda atinge uma extremidade da corda. Vamos considerar a seguir as duas primeiras situações.

Ao atingir uma extremidade fixa haverá um pulso refletido e que, portanto se movimentará no sentido oposto ao do primeiro, o incidente, de tal forma que o pulso refletido experimentará, nesse ponto, uma inversão. Ou seja, na extremidade fixa o pulso se inverte. Vide figura.

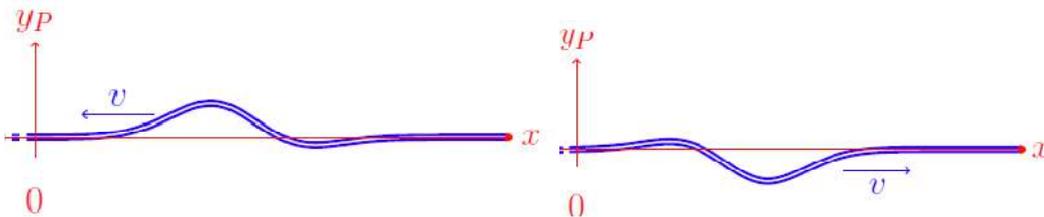


Fig. 8- Na extremidade fixa ocorre a inversão do pulso.

Outra situação que também consideramos interessante é aquela na qual a extremidade da corda pode se movimentar na direção vertical.

Aqui a análise é um pouco mais complexa porque envolve a questão da inclinação da corda nesse ponto

Esta solução nos leva a prever que ao atingir a extremidade na qual a corda possa se movimentar, o pulso, ou a onda refletida, dá lugar a um pulso ou uma onda refletida, mas sem inversão. Vide figuras abaixo:

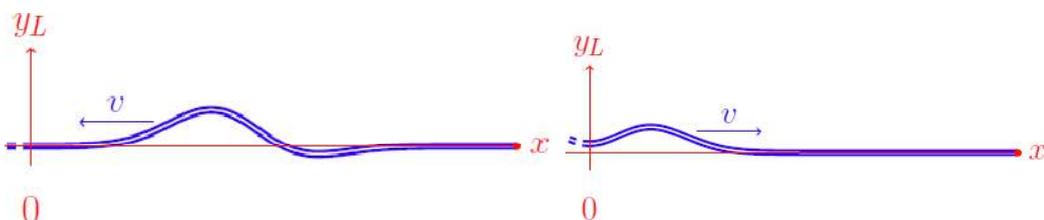


Fig. 9- Na extremidade não ocorre a inversão do pulso.