
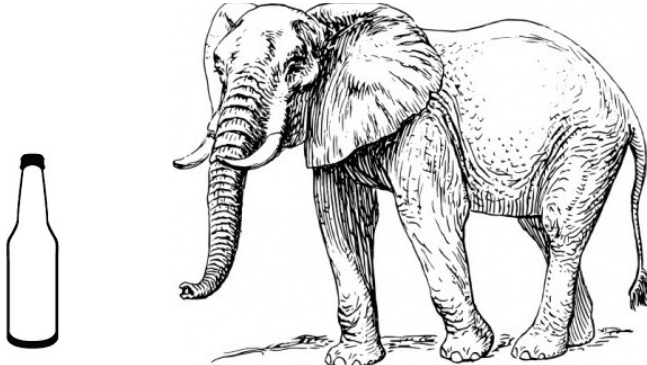
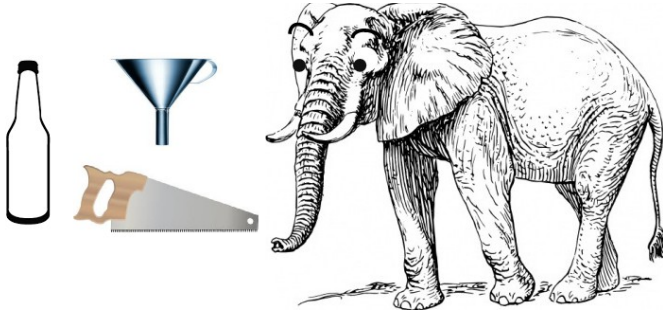
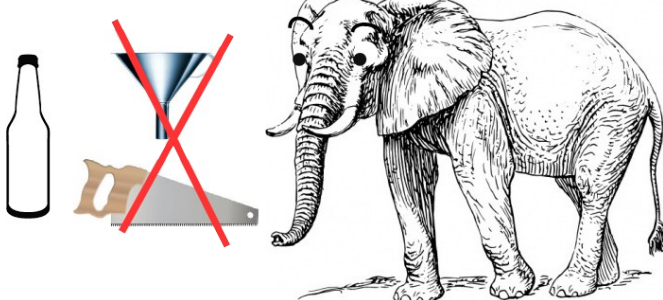
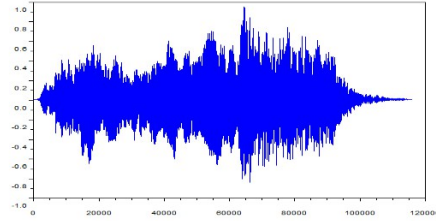
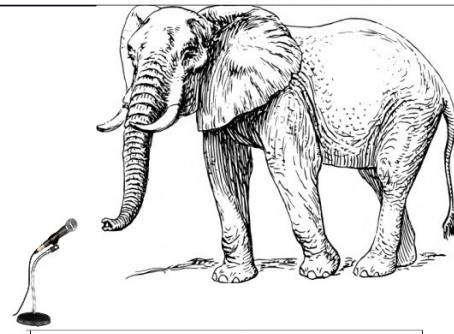


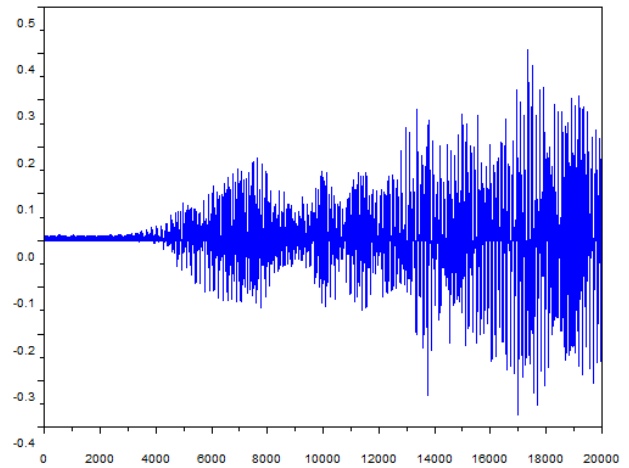
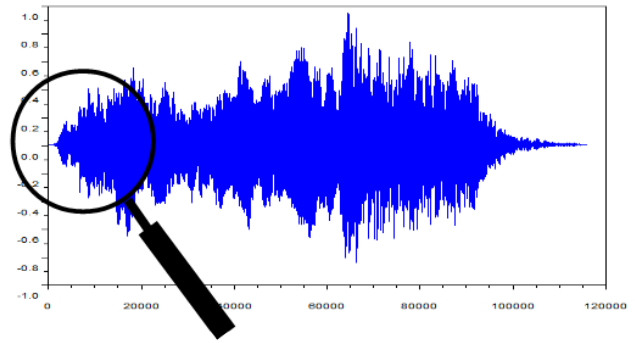
## Storyboard: Filme QUEM TEM MEDO DA CONVOLUÇÃO?

Roteiro	Ilustração/Lettering
<p>A convolução é uma operação matemática com fama de assustar alunos dos cursos de engenharias e ciências exatas.</p> <p>Mas essa dificuldade pode ser amenizada se a convolução for apresentada como a solução de problemas práticos.</p>          <p>Por exemplo: O problema de como colocar um elefante dentro de uma garrafa? (som de gargalhadas)</p>	<p data-bbox="1002 145 1246 181">Ilustração/Lettering</p>  
<p>Claro que deve haver mais de uma maneira de se colocar um elefante dentro de uma garrafa (som do elefante)</p>          <p>Do ponto de vista acústico, usar a operação matemática da convolução é uma opção bem razoável.</p>	 

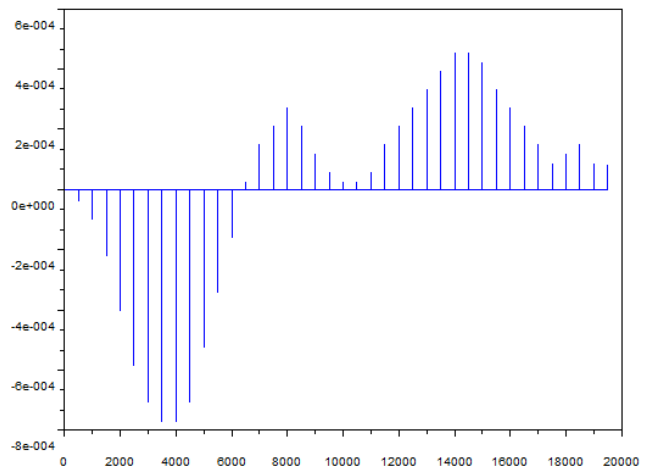
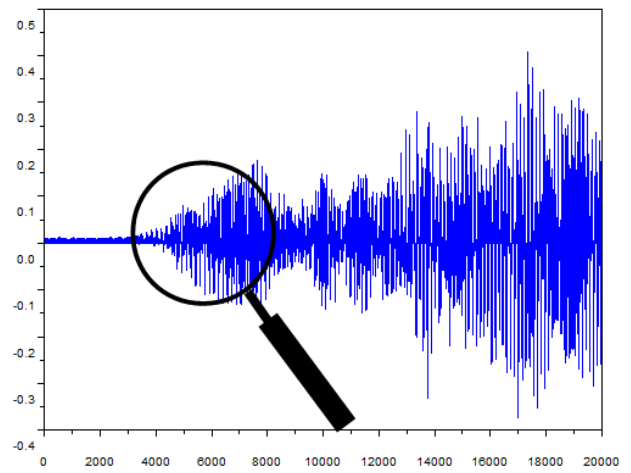
Para entendermos como fazer isso, vamos considerar o registro digital do som de um elefante (som total do elefante)



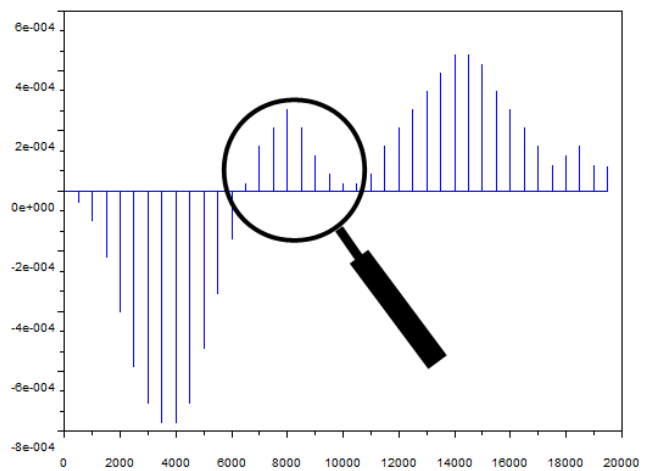
bem de perto (som: parte inicial do som do elefante)



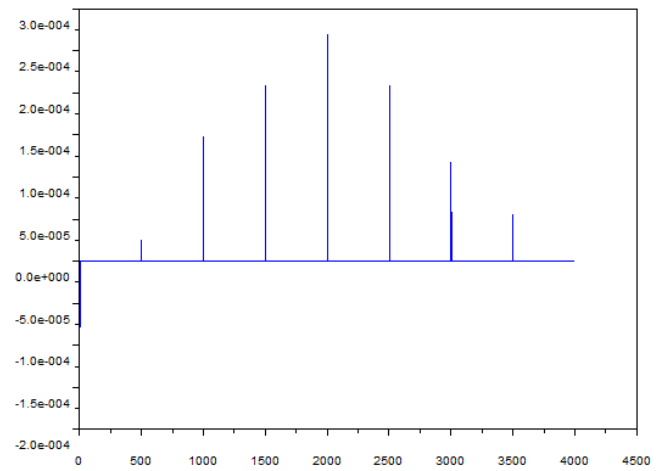
mais de perto (som: subamostragem 1)...



mais de perto (som: subamostragem 2)...

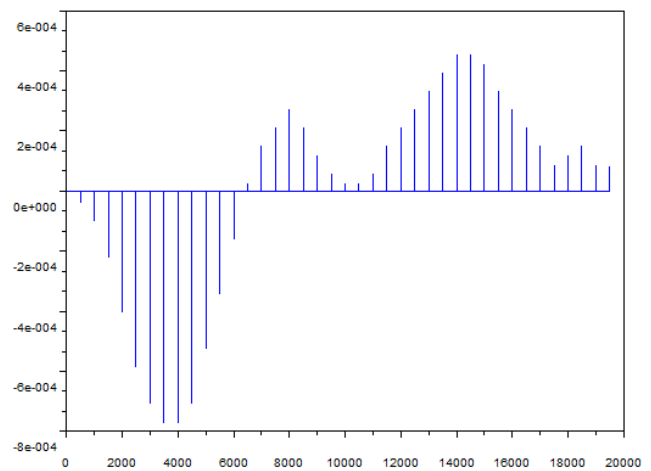


mais de perto (som: subamostragem 3)...

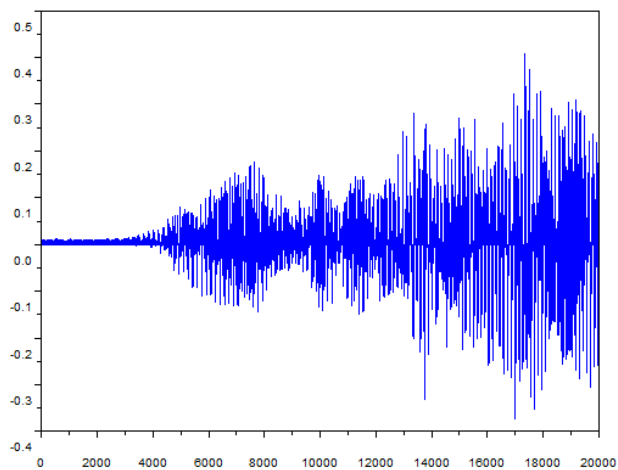


o que percebemos é que o som digital é formado por uma série de pancadinhas secas (som de algumas poucas pancadinhas) (som: subamostragem maior)...

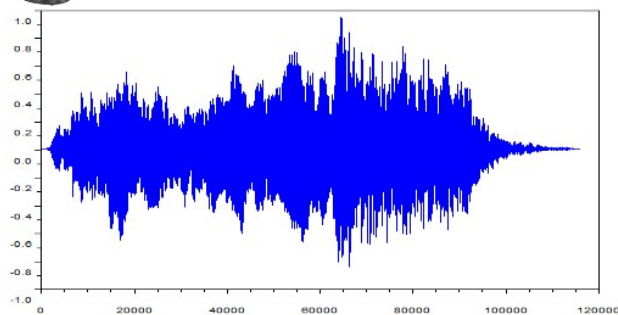
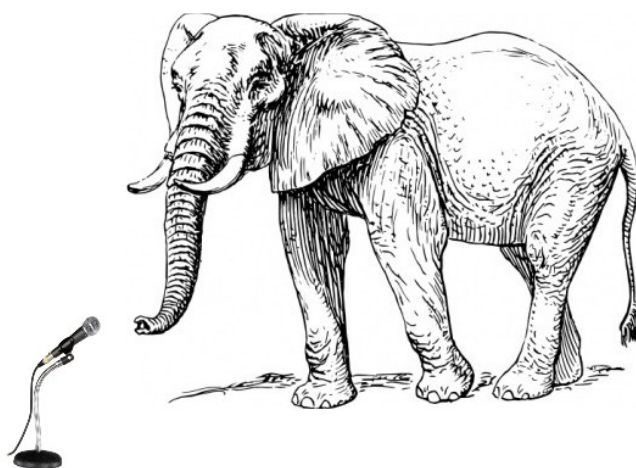
que, juntas (som algumas pancadinhas em sequência),



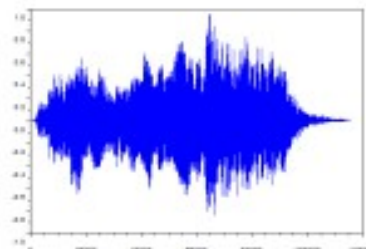
numa taxa de milhares de pancadas por segundo  
(som correspondente à figura ao lado)



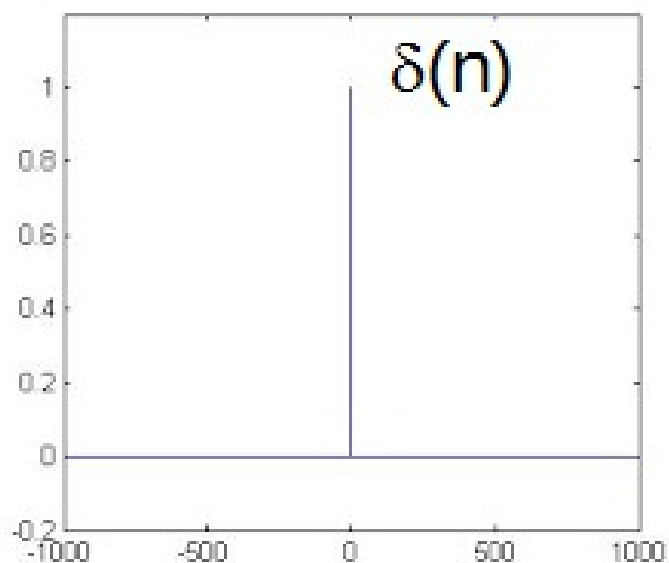
soam como um som natural (som total do elefante).



Como é o caso dos sons gravados em um CD, numa taxa de 44100 pancadinhas por segundo.



Por tradição, vamos chamar cada pancadinha de impulso, e representar esse impulso com uma letra grega, o delta (som da pancadinha quando a letra grega aparece)



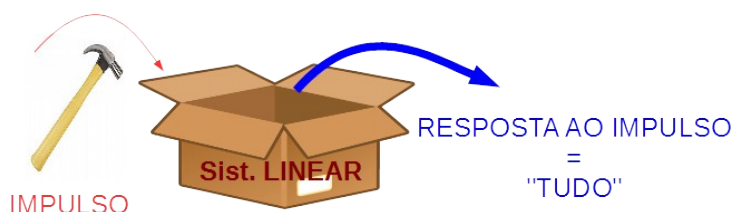
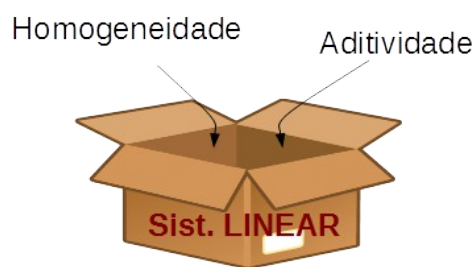
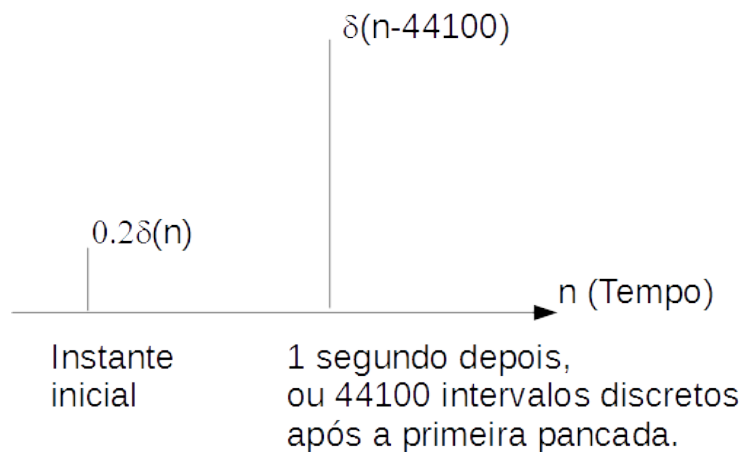
A intensidade do impulso será regulada pela multiplicação do delta por um ganho ou uma atenuação. Por exemplo, dois impulsos separados de 1 segundo e com intensidades iguais a 0.2 e 1 soarão assim (som dos dois impulsos).

Assim, ao escutar 66150 impulsos com intensidades diferentes, em uma fila que dura 1 segundo e meio, temos a ilusão de que escutamos (som do elefante) um elefante, reproduzido digitalmente.

Se queremos ter ilusão de que o som do elefante vem de dentro de uma dada garrafa, vamos estudar a acústica da garrafa.

Vamos assumir também que a garrafa é um sistema linear.

Sistema linear é uma espécie de rótulo dado a sistemas que apresentam, mesmo que aproximadamente, as propriedades de homogeneidade e aditividade, que são os fundamentos do que está sendo apresentado aqui.

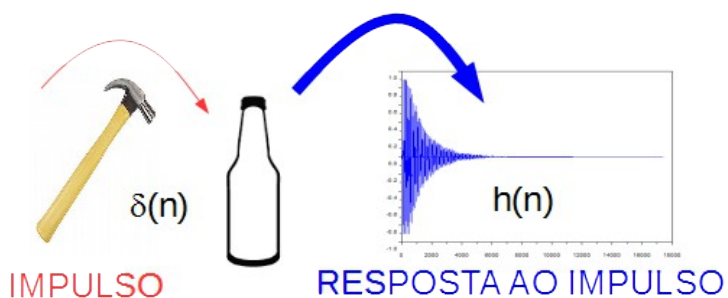


Para esta breve apresentação, basta sabermos que todas as características essenciais de um sistema linear aparecem como resposta a uma pancada seca e curta... um impulso.

Na prática, tudo o que temos que fazer é dar uma pancada curta e seca no sistema, no caso, na garrafa, para conhecermos a sua resposta, a resposta ao impulso, que denotaremos com a letra h (som da resposta ao impulso).

Considerando apenas um impulso e a resposta da garrafa a esse impulso, podemos então usar cópias atrasadas e ponderadas dessa resposta ao impulso para construir virtualmente qualquer resposta a excitações mais complexas, que chamaremos de y.

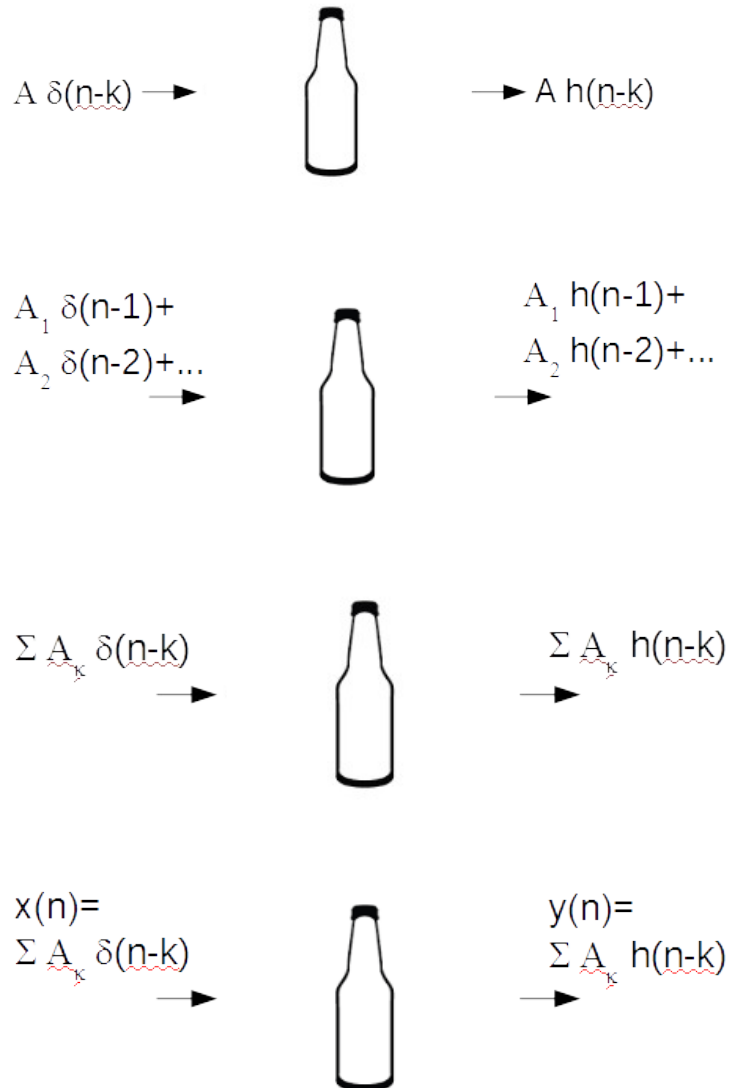
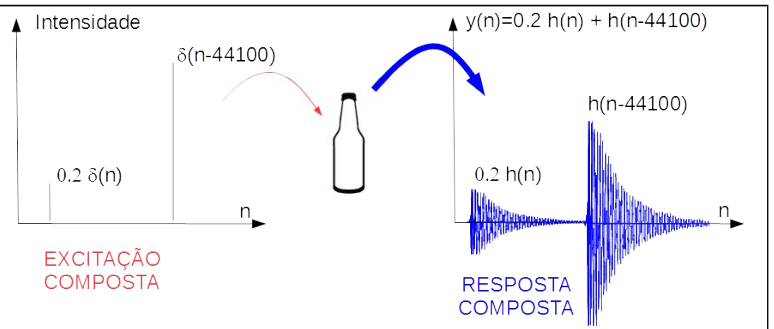
Por exemplo, consideremos apenas dois impulsos, aplicados nos instantes 0 e 1, e com intensidades iguais a 0.2 e 1. (som dos dois impulsos).





Cada impulso vai então excitar a garrafa, gerando uma saída parcial, ou dois h's, modulados com intensidades 0.2 e 1 (som dos dois h's)

Como o sistema é linear, podemos sempre combinar as saídas parciais, como réplicas ponderadas do mesmo h, mesmo que essas réplicas se sobreponham no tempo (ou seja, mesmo que uma réplica de h comece a soar antes das anteriores silenciarem).

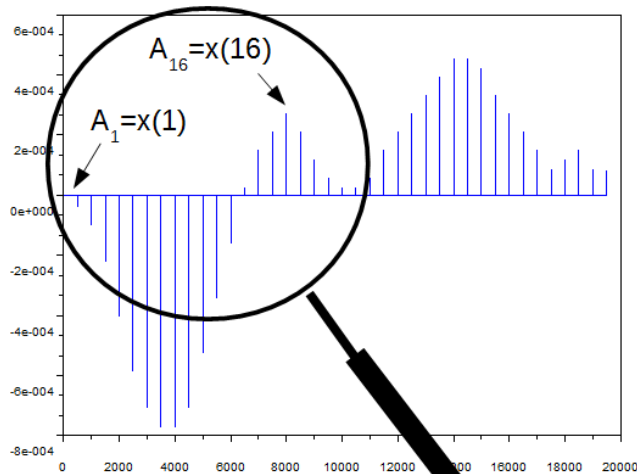


Por outro lado, dando um grande zoom na escala de tempo, podemos imaginar o som do elefante como uma sequência de milhares de impulsos (som dos impulsos)

que, quando aplicados à garrafa (som dos h's), dão respostas parciais que se somam para compor a saída y. (sons dos deltas e hs)

Acelerando-se esse efeito até a taxa real de impulsos por segundo (digamos, 44100), encontramos finalmente o som do elefante (som elefante) como se ele estivesse soando de dentro da garrafa (som convolução final)

E a operação matemática correspondente, usada para gerar esse efeito, que nada mais é do que a soma de réplicas ponderadas e atrasadas do mesmo h, é o que chamamos de convolução, neste caso particular, a convolução discreta, pois usamos registros digitais dos sinais do elefante e da garrafa.



$$y(n) = \sum x(k) h(n-k)$$

ou

$$y = x * h$$

(x convolvido com h)

Aplicações sérias dessa operação matemática são facilmente encontradas em engenharia. Por exemplo, se trocarmos o som do elefante pelo som da voz humana,

e a resposta ao impulso da garrafa pela resposta ao impulso de um canal de comunicações, digamos, um canal de comunicação celular urbano,

o resultado da convolução seria então uma simulação de como o canal celular distorceria a voz humana enquanto ela atravessa a cidade, numa comunicação via celulares, da mesma forma que simulamos o som da voz do elefante passando pela garrafa.

Como ilustração, vale notar que esse tipo de simulação tem aplicações importantes em projetos de engenharia de telecomunicações.

