



**PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM
ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

PRODUTO EDUCACIONAL
SEQUÊNCIA DIDÁTICA
O SOM DA KALIMBA: O ENSINO DE FÍSICA EM UMA
PERSPECTIVA DECOLONIAL

FERNANDA LUIZA DE SOUZA FARIAS
EMERSON FERREIRA GOMES

São Paulo (SP)
2023

Catálogo na fonte Biblioteca Francisco Montojos - IFSP Campus São Paulo Dados fornecidos pelo(a) autor(a)

f224s Farias, Fernanda Luiza de Souza
Sequência didática o som da kalimba: o ensino de física em uma perspectiva decolonial / Fernanda Luiza de Souza Farias. São Paulo: [s.n.], 2023.
29 f. il.

Orientador: Emerson Ferreira Gomes

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, 2023.

1. Kalimba . 2. Ensino Decolonial . 3. Ondas Sonoras. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo II. Título.

CDD 510

Produto Educacional apresentado como requisito à obtenção do grau de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pelo Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus São Paulo. Aprovado em banca de defesa de mestrado em 30 de outubro de 2023.

AUTORES

Fernanda Luiza de Souza Farias: Graduada em Física pela Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (Unesp), atualmente é professora de física do Ensino Médio da escola Antônio Alves Cruz, poeta, autora de dois livros “África, seu povo é o maior legado” (2021), pela editora Triluna, e “Amor, consciência e reparação” (2021), pela editora Arte Impressa, responsável pela organização das coletâneas poéticas feitas com os alunos da escola onde leciona: “Aspirando a palavras de consciência” (2021); “Canta Kalimba” (2022); “Qual a cara do Brasil” (2023), e mestra pelo Programa em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.

Emerson Ferreira Gomes: Graduado em Licenciatura em Física pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2003). Possui título de Mestre (2011) e Doutor (2016) em Ensino de Ciências na modalidade de Ensino de Física pelo Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo. Atualmente, é Professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - Física, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Boituva/SP e Professor Credenciado no Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática do IFSP, Campus São Paulo. Coordena o Grupo de Pesquisa INTERFACES – Núcleo Temático de Estudos e Recursos sobre a Fantasia nas Artes, Ciências, Educação e Sociedade na Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP) e atua como orientador credenciado no Programa de Pós-Graduação em Estudos Culturais da EACH-USP. Atua principalmente nos seguintes temas: Interface entre Física e Literatura, Física e Música, Rock no Ensino de Ciências, Mídias no Ensino de Ciências, Educação Não Formal em Ciências e Estudos Culturais.

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO	6
3	KALIMBA, ESTUDOS FÍSICOS E A VIBRAÇÃO EM UMA BARRA DE METAL PERFEITAMENTE ELÁSTICA	11
4	SEQUÊNCIA DIDÁTICA: KALIMBA E A ALEGRIA EM SALA DE AULA.....	16
	REFERÊNCIAS	28

1 Apresentação do Produto Educacional

Este material, apresentado como Produto Educacional, é parte integrante de nossa pesquisa intitulada “O som da *kalimba*: o ensino de Física em uma perspectiva decolonial”, desenvolvida no Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), sob orientação do Professor Doutor Emerson Ferreira Gomes.

O Produto Educacional consiste em uma sequência didática que tem o intuito de apresentar a *kalimba* nas aulas de Física para contextualizar o estudo voltado para ondas sonoras. Ao desenvolver esse conteúdo, costumamos apresentar instrumentos europeus, representados pelas cordas (violino) e sopro (flauta) e, ao trazer a *kalimba*, estamos diversificando os instrumentos apresentados, estes que representam o arcabouço cultural apresentado nas instituições de ensino.

Um outro fato é que, ao apresentar a *kalimba* em sala de aula, a ciência cumpre com o compromisso de contemplar a Lei nº 10.639/2003 que “[...] determinou que os estabelecimentos de ensino fundamental e médio, oficiais e particulares estão [...] obrigados a ofertar o ensino de História e Cultura Afro-Brasileira.” (PINHEIRO; ROSA, 2018).

O(A) professor(a) pode apresentar os conceitos de ondas sonoras, fazer a leitura dos poemas escritos por mulheres negras e construir uma *kalimba* com materiais de baixo custo. Feito isso, a sugestão é fazer uma roda de conversa para partilhar as canções que os alunos podem produzir com os instrumentos elaborados por eles e discutir sobre as formas de apagamento da cultura africana.

2 Referencial teórico

A *kalimba* é um instrumento de matriz africana que pertence à família dos lamelofones de acordo com Silambo (2017). Esse instrumento me foi apresentado pelo escritor Luiz Silva, mais conhecido como Cuti, no grupo de leitura do qual faço parte, e, por isso, escolhi o instrumento africano. Segundo Catherine Walsh, trazer um instrumento africano para sala de aula é o que se pode chamar de um “um ato de rebeldia”, uma postura que está sendo gestada, já que apresentar esse instrumento é algo “pequeno” se compararmos à produção epistêmica dos povos de matriz africana. Contudo, é preciso iniciar essa construção a partir de algum lugar, de forma crítica e inventiva, como descreve Abdias do Nascimento.

[...] acreditamos na reinvenção de nós mesmos e de nossa história. Reinvenção de um caminho afrobrasileiro de vida, fundado em sua experiência histórica, na utilização do conhecimento crítico e inventivo de suas instituições golpeadas pelo colonialismo e pelo racismo. Enfim reconstruir no presente uma sociedade dirigida ao futuro, mas levando em conta o que ainda for útil e positivo no acervo do passado. (NASCIMENTO, 2002, p. 346)

Fiquei impressionada com o instrumento e a sonoridade emitida por ele. A melodia remete a calma e tranquilidade. Posteriormente, resolvi adquirir o instrumento para minhas filhas, que prontamente interagiram com ele. Por se tratar de um instrumento pequeno, a impressão é que podemos fazer uma roda com as crianças ou adolescentes, dar a cada um deles uma *kalimba* e convidá-los a tocá-la.

Para o desenvolvimento da sequência didática deste trabalho, utilizou-se do aporte pedagógico de Georges Snyders, os pressupostos da teoria social cultural de Vygotsky, fragmentos das reflexões feitas por Paulo Freire, os estudos de epistemologia a partir de Sueli Carneiro e as indagações de Bárbara Carine Pinheiros Soares e Katemari Rosa sobre a importância do compromisso da ciência se comprometer com a Lei nº 10.639/2003.

O referencial pedagógico para propor a atividade vem do livro *Alegria na escola*, escrito por Georges Snyders, que descreve que uma reestruturação na formação dos professores seria atingir um entusiasmo cultural, confiar que a cultura que ensinamos pode dar satisfação aos alunos. Na escola, pode-se conhecer alegrias diferentes que as da vida diária, coisas que sacodem, interpelam, fazendo com que os alunos mudem algo em sua vida (SNYDERS, 1988, p. 14); portanto, a proposta de apresentar a *kalimba*.

Ao propor aos alunos a interação entre seus instrumentos, é possível proporcionar conforto, bem-estar, prestígio; em seguida, a vitalidade, o dinamismo e a coragem das atuações, pois o indivíduo se sente bem na sua pele. O espaço escolar é um ambiente onde a “cultura primeira” trazida pelo estudante, aquela decorrente da “experiência direta da vida” ou da recepção dos produtos da cultura de massa, descrita por Snyders, cultura que tranquiliza e procura acalmar as angústias, deve ser incorporada ao processo educacional, no sentido de que traz a satisfação ao educando (SNYDERS, 1988, p. 36).

As atividades podem ser desenvolvidas em grupo, pois, segundo Snyders, o grupo dá mais segurança, um sentimento de força comum. O grupo é descrito como lugar onde é encontrado o local de tomar iniciativa, assumir responsabilidades, brilhar. No grupo, percebemos que os avanços importantes não são desenvolvidos por uma única pessoa, que o objetivo pode ser conseguido a partir da diversidade e dos esforços de cada um.

Além disso, unir os alunos à cultura de massa produzida por outros povos em que eles se reconheçam é uni-los a um público maior, pois essa é uma das alegrias e um dos valores mais seguros da cultura de massa (SNYDERS, 1988, p. 35). Primeiramente, os alunos apresentam seus instrumentos, esses conhecidos, que constituem a cultura primeira e, posteriormente, são apresentados à *kalimba* e às características que a compõe, a partir de uma cultura elaborada. Assim, podemos apresentar uma cultura capaz de penetrar mais profundamente, valorizando o que se sabe e unir-se a outra cultura passada, trazendo-a para o presente.

Para que possamos perceber a beleza da cultura presente, é necessário conhecer o passado, que costumamos reverenciar, mas é preciso a compreensão do presente para amar o passado e para percebermos que a realidade está em desenvolvimento (SNYDERS, 1988, p. 48). Apresentar a *kalimba* em contexto histórico é uma forma de dizer que a história é um ponto de apoio, dizer que não estamos perdidos na imensidão dos tempos, é dizer que o mundo é histórico e está em constante movimentação e transformação (SNYDERS, 1988, p. 50). Refletimos sobre a continuidade histórica, ou seja, ao apagar os conhecimentos produzidos por povos afrodescendentes, perdemos essa continuidade.

Ao propor um instrumento novo em sala de aula, enfatizamos a importância das obras culturais, já que estas são produzidas por homens e mulheres; contudo, não se trata de homens e mulheres negros. Forma-se, então, uma lacuna nessa narrativa, negando aos alunos negros e negras a cultura histórica produzida por eles, uma história constituída antes, durante e após a colonização.

O mundo torna-se mais compreensivo e mais próximo; afinal, de contas “a cultura não é monopólio de uma classe”. Aqui o autor sustenta que a cultura elaborada se dirige a todos;

contudo, é necessário apresentar a cultura de todos quando fazemos recorte do currículo em sala de aula. Dessa maneira, a cultura ajuda a descobrir o valor do outro e a unir-me a eles, cultura como “[...] o conjunto de características humanas que não são inatas, e que se criam e se preservam ou aprimoram através da comunicação e cooperação entre indivíduos em sociedade.” (SILVA, 2014).

Para o desenvolvimento da sequência, é necessária a mediação do professor e a interação entre os alunos. Segundo o texto de Marta Khol de Oliveira (1993), em que interpreta o pensamento de Vygotsky, temos a ideia de intervenção, que, por sua vez, busca a compreensão das relações interpessoais no processo de desenvolvimento humano. Nessa perspectiva, o sujeito não é passivo. Nesse processo, é necessário orientar as tarefas, dar instruções etc., maneiras de promover a aprendizagem na qual a ação do indivíduo é fundamental.

Na mesma obra, a autora fala sobre a importância dos signos, que “[...] podem ser definidos como elementos que representam ou expressam outros objetos, eventos situações [...]” (OLIVEIRA, 1993, p. 30). Dessa forma, a *kalimba* é o signo “marca externa”, que será utilizada para auxiliar na mediação do resgate da memória cultural africana.

As aulas dialogadas propostas na sequência didática possuem como referência a perspectiva de Paulo Freire, que descreve sua importância no livro *Pedagogia do Oprimido*:

O diálogo fenomeniza e historiciza a essencial intersubjetividade humana; ele é relacional e, nele, ninguém tem iniciativa absoluta. Os dialogantes “admiram” um mesmo mundo; afastam-se dele e nele coincidem; nele põe-se e opõe-se. O diálogo não é um produto histórico, é a própria historização. É ele, pois, o movimento constitutivo da consciência que, abrindo-se para infinitude, vence intencionalmente as fronteiras da finitude e, incessantemente busca, reencontrar-se além de si mesma. (FREIRE, 2021, p. 22)

É por meio do diálogo que oportunizamos a consciência de mundo, um mundo comum com a possibilidade de comunicar-se com o outro. O diálogo oportuniza conhecer a história a partir de outros pontos de vista e, assim, possibilita outras visões de mundo, um olhar que contempla todas as pessoas.

A forma que narramos a história visibiliza a voz de determinados sujeitos e apaga as vozes de outro. Orlandi (2005) retrata o apagamento a partir da enunciação, que faz com que contemos as histórias de uma maneira e não de outra, favorecendo aqueles que consideramos “sujeitos” e, assim, a história vai sendo contada a partir de um único ponto de vista. Rosa, Brito

e Pinheiro (2020) argumentam sobre a complexidade do argumento acima: ao contar a história de determinada maneira, possibilita-se definir as pessoas brancas como “humanas e universais”.

Corremos o risco de apresentar uma história única, contada sob um único ponto de vista, a partir do sujeito que “pode” falar. Adichie (2019), escritora nigeriana, retrata a percepção que tinha ao ler apenas livros de povos estrangeiros e, mesmo sendo ela uma menina nigeriana, costumava trazer em seus personagens pessoas com os traços fenotípicos europeus. Ao ter acesso a literatura africana, ela passou a perceber que crianças como ela poderiam fazer parte de suas histórias. Diversificar as histórias, retratar fatos de diversos pontos de vista, amplifica a visão que temos de mundo e contribuimos para visibilização de que todos fazemos parte dele.

Percebi que pessoas como eu, meninas com pele cor de chocolate, cujo cabelo crespo não formava um rabo de cavalo, também podiam existir na literatura. Comecei, então, a escrever sobre coisas que eu reconhecia. Eu amava aqueles livros americanos e britânicos que lia. Eles despertaram minha imaginação. Abriram mundos novos para mim, mas a consequência não prevista foi que eu não sabia que pessoas iguais a mim podiam existir na literatura. (ADICHIE, 2019, p. 7)

Para contribuir com a visualização de saberes de povos de matriz africana, é proposto o estudo de ondas mecânicas a partir da sonoridade da *kalimba*. Assim, apresentamos aos discentes outros instrumentos e um comprometimento da ciência em cumprir a Lei nº 10.639/2003, que “[...] determinou que os estabelecimentos de ensino fundamental e médio, oficiais e particulares estão [...] obrigados a ofertar o ensino de História e Cultura Afro-Brasileira.” (PINHEIRO; ROSA, 2018).

Trazer uma sequência que contemple a Lei nº 10.639/2003 e que visualize os saberes construídos por povos de matriz africana mostra o compromisso do ensino de ciências com uma educação capaz de contemplar a diversidade e de proporcionar uma discussão sobre as variedades de cosmovisão. Se não retratamos os saberes construídos pela humanidade que foi silenciada, estamos tornando válida as diversas formas de apagamento descrito por Sueli Carneiro, de epistemicídio que coloca a educação apenas como lugar de reprodução de saberes, poderes e subjetividades daqueles que podem falar.

O dispositivo de racialidade vem se constituindo historicamente em elemento estruturador das relações raciais no Brasil e que, dentre os componentes dos dispositivos de racialidade que ele articula, o epistemicídio tem se constituído no instrumento operacional para a consolidação das hierarquias raciais por ele

produzidas, para as quais a educação tem dado contribuição inestimável. (CARNEIRO, 2005, p. 7)

Embora invisibilizados nos estudos de ciências, são vários os intelectuais que questionam e explicam a lógica racista da ciência moderna (PINHEIRO, 2019; FERREIRA DANTAS JUNIOR, 2022; GOMES, 2018). Suas vozes também são silenciadas, já que o currículo apresentado nas escolas é marcado por aspectos coloniais e hegemônicos. Os livros de Física retratam instrumentos europeus para esses estudos, e trazer a *kalimba* é uma forma de valorizar, diversificar e aproximar os educandos de outras narrativas, levando-os a construir e ressignificar seus olhares.

3 *Kalimba*: estudos físicos e a vibração em uma barra de metal perfeitamente elástica

O instrumento escolhido para ser apresentado aos alunos é o mais simples dos lamelofones. A *kalimba* é constituída de uma base de coco que funciona como a caixa de ressonância e sete lamelas (lâminas de metais), adquiridas em ma compra pela internet a preço acessível, caso o professor resolva adquirir o instrumento para apresentar aos alunos.

As lâminas metálicas estão presas a um cavalete e podem ser pressionadas na extremidade livre. Diferente do comportamento das cordas vibratórias ou do ar que vibra em tubos longos, essa vibração pode tratar-se da frequência em função do comprimento e pode ser descrita a partir da equação de Euler Bernoulli, que descreve vibrações em lâminas longas e finas perfeitamente elásticas. As frequências geradas por barras presas em um só lado não apresenta relação direta com os harmônicos naturais (SOUZA, 2011, p. 91).

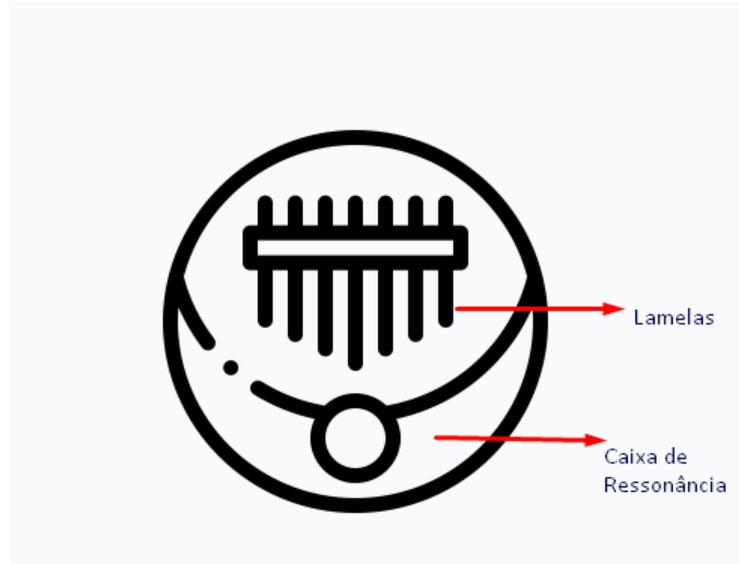


Figura 1. Esboço da *kalimba* mostrada aos alunos. Fonte: elaborado pela autora.

A análise da equação da *kalimba* foi feita a partir dos trabalhos desenvolvidos por Neville Fletcher, Thomas Rossing, Rodolfo Coelho de Souza e Vinicius de Oliveira Moraes (2022).

Abaixo, segue um modelo matemático desenvolvido para o cálculo da frequência da *kalimba*. Essa proposta não é adequada para apresentar ao Ensino Médio, mas considerei relevante mostrar as fórmulas que descrevem as vibrações de uma lâmina considerando as condições em que ela se encontra – no caso da *kalimba*, uma das extremidades está presa.

A equação geral para as ondas de flexão em barras elásticas é descrita a seguir:

$$y = \cos(\omega t + \phi)[A \cos kx + B \sin kx + C \cos kx + D \sin kx]$$

Considerando que as barras da *kalimba* são perfeitamente elásticas, estão presas a um suporte, mas a outra extremidade permanece livre, a segunda derivada é igual a zero.

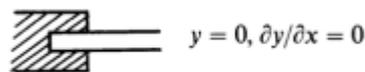


Figura 2. Barra presa, y e a primeira derivada. Fonte: (Fletcher 1991)

Assim, a solução geral fica dessa maneira:

$$y = \cos(\omega t + \phi)[A \cos kx + B \sin kx + C \cos kx + D \sin kx]$$

Há duas condições de contorno:

Condição (1): Em $x = 0$ temos $y = 0$, ou seja $y(x = 0) = 0$

Condição (2): Em $x = 0$ também temos $\frac{dy}{dx} = 0$, ou seja $\frac{dy}{dx}(x = 0) = 0$

$$y = \cos(\omega t + \phi) \cdot [A \cosh(kx) + B \sinh k(kx) + C \cos(kx) + D \sin(kx)]$$

Aplicando a condição de contorno (1):

$$\text{Se } x = 0 \rightarrow y(0)$$

$$= \cos(\omega t + \phi)$$

$$\cdot [A \cosh(0) + B \sinh k(0) + C \cos(0) + D \sin(0)] = 0$$

$$\text{Se } x = 0 \rightarrow y(0) = \cos(\omega t + \phi) \cdot [A \cdot 1 + B \cdot 0 + C \cdot 1 + D \cdot 0] = 0$$

$$y(x = 0) = y(0) = \cos(\omega t + \phi) \cdot [A + C] = 0 \leftrightarrow A + C = 0$$

Aplicando a condição de contorno (2):

(2) Se $x = 0$ temos $\frac{dy}{dx} = 0$, ou seja $\frac{dy}{dx}(x = 0) = 0$

Vamos achar $\frac{dy}{dx}$:

Seja $\frac{d}{dx}$ o operador derivado de uma função qualquer com relação a variável x .

Assim temos:

$$\frac{d}{dx}(\cosh x) = \frac{d}{dx}\left(\frac{e^x + e^{-x}}{2}\right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{dx}(e^x + e^{-x})$$

$$\frac{d}{dx}(\cosh x) = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{d}{dx}(e^x) + \underbrace{\frac{d}{dx}(e^{-x})}_{\text{ver Nota}} \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[e^x + \underbrace{(-1)e^{-x}}_{\text{ver Nota}} \right]$$

*Nota: usando regra da cadeia.

$$\frac{d}{dx}(\cosh x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2} = \sinh x \quad \frac{d}{dx}(\cosh x) = \sinh x$$

$$\frac{d}{dx}(\cosh x) = \sinh x$$

Dessa forma, temos:

$$\frac{d}{dx}(\sinh x) = \cosh x$$

$$\frac{d}{dx}(\cos x) = -\sin x$$

$$\frac{d}{dx}(\sin x) = \cos x$$

Se $y = \cos(\omega t + \phi) \cdot [A \cosh(kx) + B \sinh k(kx) + C \cos(kx) + D \sin(kx)]$

$$\frac{dy}{dx} = \cos(\omega t + \phi) \cdot [A \sinh(kx) k + B \cosh k(kx)k + C (-\sin(kx)k + D \cos(kx)k]$$

Esse k vem da regra da Cadeia

Pela condição de contorno, temos que se $x = 0 \cos x \rightarrow \frac{dy}{dx} = 0$, substituindo $x = 0$, então:

$$\frac{dy}{dx}(x = 0) = \cos(\omega t + \phi)$$

$$\cdot [A \sinh(0)k + B \cosh k(0)k + C (-\sin(0)k + D \cos(0)k]$$

$$\frac{dy}{dx}(x = 0) = \cos(\omega t + \phi) \cdot [A \cdot 0 + B \cdot K + C \cdot 0 + D \cdot K]$$

$$\frac{dy}{dx}(x = 0) = 0 \leftrightarrow K \cdot (B + D) = 0 \quad (h \neq 0) \leftrightarrow B + D = 0$$

De acordo com o que foi mostrado anteriormente, quando se trata da *kalimba*, em que temos a vibração de uma barra fixa em $x = 0$ e livre em $x = L$, as condições de contorno implicam em:

$$A + B = C + D = 0$$

Moraes, em seu texto, mostra as contribuições de De Neville H. Fletcher e Thomas D. Rossing (1993), em que é apresentada a ilustração de uma lâmina posta para vibrar, retirada do livro *The Physics of Musical Instruments*. A ilustração mostra os primeiros quatro modos de vibração de lâmina, as vibrações dependem da frequência, elasticidade e comprimento da barra.

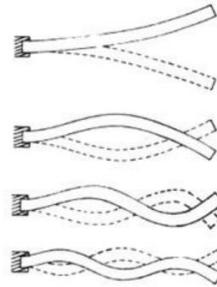


Figura 3. Os primeiros quatro modelos de vibração de uma barra que está fixa em uma das extremidades. Fonte: Figura retirada do livro “The Physics of Musical Instruments”, de Neville H. Fletcher e Thomas D. Rossing (1993).

Tomando como referencial a equação transcendental derivada de quarta ordem em que é possível produzir a razão entre frequência e comprimento, descrevendo os modos naturais de vibração das lâminas e a condição em que ela está presa em uma das extremidades:

$$f_n = \frac{\pi K}{8L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (\text{equação 1})$$

A partir dessa relação matemática, variando a frequência em função do comprimento da lâmina, e o restante como uma constante, observa-se que a frequência fundamental varia com o inverso do quadrado do comprimento da lâmina: $f_1 \sim \frac{1}{L^2}$. Dessa maneira, a frequência da lâmina alcançará uma oitava em $f_2 = 2 f_1$:

$$f_2 = 2 f_1 \rightarrow \frac{f_2}{f_1} = 2 \rightarrow \frac{\frac{\pi K}{8L_2^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}}{\frac{\pi K}{8L_1^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}} = 2 \rightarrow \frac{\frac{1}{L_2^2}}{\frac{1}{L_1^2}} = 2 \rightarrow \frac{L_1^2}{L_2^2} = 2 \rightarrow L_1 = \sqrt{2} \cdot L_2$$

A partir da relação descrita anteriormente, conclui-se que, ao vibrar metade do comprimento inicial da lâmina, ou seja, $L_2 = \frac{L_1}{2}$, sua frequência será:

$$L_2 = \frac{L_1}{2} \rightarrow L_2^2 = \frac{L_1^2}{4} \rightarrow \frac{\pi K}{8f_2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{\pi K}{8f_1} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{\pi K}{8f_1} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 4 \rightarrow \frac{1}{f_2} = 4 \rightarrow f_2 = 4f_1$$

Dessa forma, ao colocarmos a lâmina para vibrar com metade do seu comprimento inicial, a frequência será quadruplicada, ou seja, duas oitavas. Se observarmos a figura novamente, podemos verificar que o comprimento útil da lâmina do dó agudo da segunda oitava é metade do comprimento útil do primeiro dó, o que caracteriza que a frequência da lâmina central é a mais grave (MEDEIROS, 2022).

As equações apresentadas acima descrevem a frequência da lâmina da *kalimba* a partir do comprimento útil da lâmina. Considerei relevante a apresentação neste texto, mas vale lembrar que não foi essa a abordagem escolhida para apresentar o instrumento aos estudantes.



Figura 4. Foto da kalimba utilizada na pesquisa. Fonte: elaborada pela autora.

4 Sequência didática: *kalimba* e a alegria em sala de aula

Antes de iniciar a sequência didática, pode ser feito um convite aos alunos que tragam seus instrumentos e façam uma apresentação em sala de aula. Como Georges Snyders propõe, a satisfação cultural a partir da cultura primeira, o convite tem o intuito de fazer os alunos interagirem uns com os outros e dar abertura às aulas de “ondas sonoras”.

Após a apresentação dos alunos que aceitarem o convite, dê início ao desenvolvimento da sequência didática. Como o estudo de ondas sonoras se dá a partir de instrumentos musicais, a sequência composta de oito aulas inicia-se com um questionário para identificar quais instrumentos musicais os alunos conhecem e têm acesso. Após essa identificação, são apresentados poemas de mulheres negras e, em seguida, a *kalimba*. Feito isso, os alunos são convidados a construir o instrumento com garrafas PET e, finalmente, responder ao questionário, que possibilitará as reflexões sobre o apagamento dos instrumentos de matriz africana no ensino de Física.

Abaixo, segue uma tabela das habilidades que podem ser destacadas durante o desenvolvimento da sequência didática.

Habilidades que podem ser destacadas durante o desenvolvimento da sequência didática.		
Ano	Código da BNCC	Descrição da habilidade
Terceiro ano do Ensino Fundamental	(EF03CI01)	Produzir diferentes sons a partir da vibração de variados objetos e identificar variáveis que influem nesse fenômeno. (BNCC. Acesso em: 6 jun. 2023).
Ensino Médio	(EM13CNT305)	Investigar e discutir o uso indevido de conhecimentos das Ciências da Natureza na justificativa de processos de discriminação, segregação e privação de direitos individuais e coletivos para promover a equidade e o respeito à diversidade. (BNCC. Acesso em: 6 jun. 2023).
Ensino Médio	(EM13CHS102)	Identificar, analisar e discutir as circunstâncias históricas, geográficas, políticas, econômicas, sociais, ambientais e culturais da emergência de matrizes conceituais

		<p>hegemônicas (etnocentrismo, evolução, modernidade etc.), comparando-as a narrativas que contemplem outros agentes e discursos.</p> <p>(BNCC. Acesso em: 6 jun. 2023).</p>
--	--	--

Fonte: elaborada pela autora.

As habilidades vinculadas ao Ensino Fundamental podem ser trabalhadas com alunos das séries iniciais desde que a sequência didática seja adaptada. Para os alunos do Ensino Médio, serve como retomada da habilidade que se espera ter sido desenvolvida nos anos anteriores. A que contempla Ciências Humanas está descrita para que os professores possam trabalhar de forma interdisciplinar. Como a escola onde foi desenvolvida a pesquisa está vinculada ao ensino integral, a interdisciplinaridade é uma das premissas do programa, chamada corresponsabilidade que “[...] busca construir projetos pedagógicos em conjunto com alunos e outros professores [...]”, descrito no caderno do gestor da escola integral.

A sugestão é que as aulas iniciem com a seguinte pergunta: “O que é som?”. A intenção é sensibilizá-los, indagando sobre como o som é produzido, quais as características presentes em ondas sonoras e as fontes que as emitem. O nosso instrumento é a voz humana. A partir daí, convide um aluno para a leitura dos poemas “Canto para a mãe África”, de Cristiane Sobral, e “Canto Abrigo”, de Fernanda Luiza de Souza Farias. Após a leitura dos poemas, a sugestão é propor aos alunos que reflitam sobre os poemas recitados e, a partir deles, criem seus próprios, inspirados pela *kalimba*. A seguir, são apresentados os dois poemas.

Canto para a mãe África

Mãe grande

Ouve minha voz decolonial!

África dos doutores de Tumbuctu

África do império Ashanti

África das amazonas do Daomé

África cuja música não é feita somente de tambores

África de sofisticados instrumentos como o khalam e o korá

África berço da humanidade
Mãe detentora das nossas raízes
Eu te saúdo!

Cristiane Sobral

Canto Abrigo

Canta mbira abrindo portas ao combate
Canta trazendo etnia em seu som
Canta como resistências
Canta vozes em seus tons

Canta mbira como abrigo
Dos resquícios da escravidão
Canta como processo
De amor, coragem e consideração

Canta kalimba com docilidade
Força ancestral em seu vibrar
Carrega no vento a saudade
Canta a resistência no soar

Canta como insurgência
Como desobediência, canta,
Abra caminho instrumento
Para com amor transformar

Fernanda Luiza

Na aula dois, pode-se solicitar aos alunos que caracterizem as ondas sonoras a partir do que ouviram. Antes de finalizar a aula, apresente as três primeiras questões do questionário para que os alunos possam respondê-las e comecem a refletir sobre os instrumentos apresentados no poema. As questões quatro e cinco serão respondidas posteriormente.

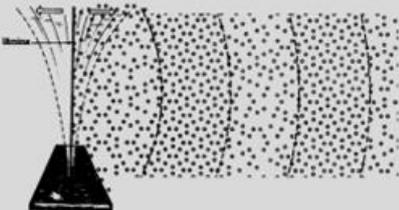
Questionário

1. É provável que você conheça algum instrumento musical. Escreva pelo menos três instrumentos que você conheça.
2. Qual o país de origem dos instrumentos elencados por você?
3. Os poemas das escritoras Cristiane Sobral e Fernanda Luiza trazem três instrumentos de matriz africana. Você conhecia alguns deles?
4. Você já ouviu falar em um instrumento chamado *kalimba*? Qual o país de origem desse instrumento?
5. Quais características sociais e culturais existentes fazem com que conheçamos violinos, violões, entre outros instrumentos, mas não conheçamos a *kalimba*?

Os instrumentos que aparecem nos poemas são a *kalimba*, a *kora* e o *kalam*. Como o instrumento apresentado é a *kalimba*, chamei a atenção para ela.

Que tal um pouco de som?

As ondas sonoras são variações da pressão do ar, e sua propagação depende assim de um meio material. À medida que a onda se propaga, o ar é primeiro comprimido e depois rarefeito, pois é a mudança de pressão no ar que produz o som.



As ondas sonoras capazes de ser apreciadas pelo ouvido humano têm frequências variáveis entre cerca de 20 hertz e 20 000 hertz.

A voz feminina produz um som cuja frequência varia de entre 200 Hz a 250Hz, enquanto a masculina apresenta uma variação de 100 a 125 Hz.

Além da frequência, as ondas sonoras também são caracterizadas pelo seu tamanho ou comprimento de onda.

Esse comprimento pode ser calculado por uma expressão que o relaciona com sua frequência e velocidade de propagação:

$$\text{velocidade} = \text{frequência} \times \text{comprimento de onda}$$

Para se ter uma idéia do tamanho das ondas sonoras audíveis pelos seres humanos, basta dividirmos o valor da velocidade de sua propagação pela sua frequência. Assim, para 20Hz, o comprimento da onda sonora será de 17 metros. Já para ondas sonoras de 20.000 Hz, o comprimento da onda será de 1,7 cm.

As ondas sonoras são ondas mecânicas que precisam de um meio material para se propagarem, provocando vibração deste meio no mesmo sentido de sua propagação. Por esta razão, elas são denominadas de **ondas longitudinais**. O vácuo não transmite o som, pois ele precisa de um meio material para se propagar.

Figura 5. Imagem do material utilizado para os estudos sobre ondas sonoras. Fonte: elaborada pela autora

O material acima foi desenvolvido pelo Grupo de Reestruturação em Ensino de Física (GREF), que traz de forma contextualizada o estudo de ondas sonoras. O material traz características das vozes humanas (feminina e masculina), que é possível ser apresentada aos alunos após a leitura dos poemas. A partir do material, desenvolveram-se os conceitos de som, velocidade de propagação, frequência e comprimento de onda. Outro referencial utilizado foi o livro de Física que faz parte do material didático da escola onde leciono. Abaixo, é possível visualizar a imagem da página do livro que aborda as características dos instrumentos musicais.



Figura 6. Imagens do livro didático utilizado durante a aula de Física. Fonte: livro de física, (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2016).

Na aula três, a proposta é representar a *kalimba* por se tratar de um instrumento pouco conhecido; por isso, foram apresentados dois vídeos que mostraram o instrumento¹. No segundo vídeo, é possível visualizar o solo performático da musicista Ambuya Stella Rambisai Chiweshe, tocando a *mbira dzavadzimu*. O vídeo pode ser visualizado no link: <https://youtu.be/rPWmWk8uv-I> (Acesso em: nov. de 2022).

No primeiro vídeo, aparecem características sonoras da *kalimba*. A narrativa descreve o cotidiano do povo *shona* a partir de uma animação, retratando algumas leituras da cultura daquelas pessoas. A apresentação é dividida em quatro capítulos em que são apresentadas quatro melodias tocadas pela *mbira/kalimba*, são elas: “Nhemamusasa”, “Bangisa”, “Taireva”,”

¹ O Google trouxe esse material disponível no link: <https://www.google.com/doodles/celebrating-mbira>. Acesso em: 17 nov. 2022.

Chemutengure”. A seguir, é possível visualizar o mosaico de imagens apresentado no vídeo. As imagens pertencem ao vídeo criado pelo Google em homenagem a *kalimba/mbira*.



Figura 7. Apresentação inicial da *mbira/kalimba*. Fonte elaborado pela autora.

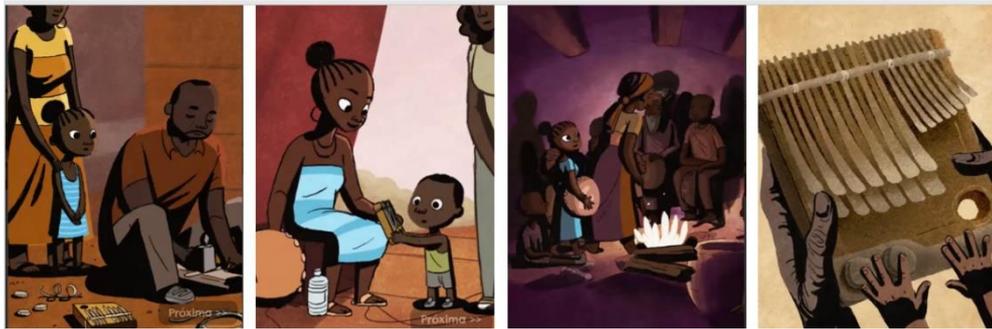


Figura 8. Imagem da importância *kalimba/mbira* no cotidiano do povo Shona. Fonte: elaborado pela autora.



Figura 9. Apresentação da *mbira/kalimba* com outros instrumentos. Fonte: Elaborado pela autora

O segundo vídeo apresenta Ambuya Stella Rambisai Chiweshe tocando a *mbira dzavadzimu*. A artista é uma mulher negra que ousou apresentar o instrumento em um momento em que era proibida a prática de atividades culturais e tradicionais no continente africano que ocorreram durante o regime colonial, que teve, entre inúmeras violências, o propósito de apagar as tradições culturais de matriz africana (The Queen of mbira. Disponível em: <https://zimnative.com/blogs/great-zimbabweans/ambuya-stella-chiweshe-queen-of-mbira>. Acesso em: 10 out. 2022).



Figura 10. Ambuya Stella Rambisai Chiweshe tocando a *mbira dzavadzimu*.

A partir dessa aula, é possível dialogar sobre aspectos culturais que apagam os elementos e saberes dos povos de matriz africana. Na foto abaixo, é possível visualizar os alunos atentos aos vídeos apresentados.



Figura 11. Alunos assistindo à apresentação do vídeo da *kalimba*. Fonte: elaborada pela autora.

Na aula quatro, a proposta é que os discentes construam uma *kalimba* com materiais reciclados como a garrafa PET, grampos de cabelo e fita adesiva. Os materiais devem ser solicitados na aula anterior. A ideia é que seja construída uma *kalimba* simples, para que os discentes visualizem a caixa acústica e as lamelas e possam interagir de forma lúdica com o instrumento. Após a construção, convide-os a se entrosar com a *kalimba* construída por eles.

Para construir a *kalimba* com garrafa PET, é necessário que os alunos tragam uma garrafa de dois litros, sete grampos de “cabelo” e fita adesiva para fixar os grampos na garrafa. Na imagem abaixo, é possível visualizar uma *kalimba* elaborada com esse material feita pelos alunos.



Figura 12. Elaboração da *kalimba* com materiais de baixo custo. Fonte: elaborada pela autora.

Para que os alunos possam fazer a medição da frequência deve ser proposto, na aula cinco, baixar o *app* Decibelímetro – *Sound Meter* no celular e medir as variações da intensidade do som por meio do aplicativo. As variações de intensidade ocorrem em função das variações angulares (previamente estabelecidas) da fonte sonora que emitirá frequência constante de 1 kHz. A construção do gráfico polar a partir dos dados de intensidade (dB) e ângulo ($^{\circ}$). O raio representado no gráfico será o nível de entrada do som (em decibéis) e o ângulo representará a orientação da fonte sonora em relação aos sensores do celular. Assim, é possível medir a diretividade do som, que é a distribuição espacial da energia em uma fonte sonora (ROCHA SILVA; SANTOS, 2019). Nesse momento, os alunos podem observar as formas das ondas emitidas pelas vozes deles no celular e posteriormente pela *kalimba*.



Figura 13. Imagem dos alunos utilizando o decibelímetro. Fonte: elaborada pela autora.

Na aula seis, a sugestão é realizar uma roda de conversa para que os alunos retomem o questionário e descrevam de forma dialogada como foi construir o instrumento. Deixei-os apresentar as percepções quanto à realização da atividade e retome a questão 4 do questionário, que aborda a *kalimba* e sua origem. Nos vídeos, é mencionado o país de origem do instrumento e a questão quatro propõe observar se os alunos conseguiram identificá-la.

Na aula sete, com a utilização do *app Sound Meter*, os alunos podem observar as características das ondas emitidas pelo instrumento produzido por eles e fazer uma discussão das possíveis diferenças apresentadas, como, por exemplo, material da caixa acústica e lamelas.

Com a aula oito, finaliza-se a sequência didática com a avaliação da atividade, para verificar se ela contribuiu para uma discussão sobre a produção cultural dos povos africanos, retomando a questão cinco do questionário: quais características sociais e culturais existentes fazem com que conheçamos violinos, violões, entre outros instrumentos, mas não conheçamos a *kalimba*? A retomada do questionário é relevante para que os alunos possam responder a essa última questão.

Na tabela a seguir, está disposta a sequência didática desenvolvida na pesquisa. Cada aula teve 90 minutos de duração.

Sequência didática desenvolvida na pesquisa				
Quantidade de Aulas	Objetivo	Metodologia	Material	Objetivo da atividade
Aula 1 – O que é som?	Explorar os conhecimentos	Apresentação e síntese da construção programática do	Autorização para os participantes;	Aproximação social.

	por meio de poemas como exemplos de ondas e suas propriedades associados ao cotidiano.	tema e encaminhamentos de autorizações para participação dos estudantes na pesquisa. Aula dialogada sobre ondas mecânicas com leitura do poema da escritora Cristiane Sobral, “Canto para mãe África”.	Poema; PPT. TALE e TCLE	
Aula 2 – Som: Características Físicas e Fontes.	Contextualizar e apresentar a função de onda.	Aula dialogada com aplicação do questionário.	Questionário.	Caracterização das ondas sonoras.
Aula 3 – Apresentar as características de um instrumento musical.	Apresentar a <i>kalimba</i> .	Aula dialogada e proposta da construção da <i>kalimba</i> .	Projektor para apresentação da <i>kalimba</i> .	Aproximação social.
Aula 4 – Som: fontes sonoras.	Propor a construção de uma <i>kalimba</i> com materiais reciclados.	Aula dialogada (proposta de trazer materiais para construção da <i>kalimba</i>).	Materiais reciclados para compor a <i>kalimba</i> .	Construção da <i>kalimba</i> .
Aula 5 – Medição da frequência.	Caracterizar a onda a partir da voz humana.	Aula com uso do <i>app</i> que descreve a onda mecânica a partir da voz.	Aplicativo (<i>app</i>) para medir a frequência da onda sonora; celular dos alunos.	Caracterização das ondas sonoras.
Aula 6 – Diálogos sobre a sequência.	Conversar sobre aos instrumentos musicais em sala de aula.	Aula dialogada.	Roda de conversa.	Aproximação social.
Aula 7 – Medição da frequência emitida pelo instrumento.	Medir a frequência emitida pelo instrumento.	Utilização do aplicativo <i>Sound Meter</i> .	Materiais reciclados para compor a <i>kalimba</i> .	Conhecer as características de ondas mecânicas.
Aula 8 – Avaliação da atividade.	Avaliar se a atividade contribuiu para uma discussão	Aplicação do questionário de avaliação.	Questionário de avaliação.	Dialogar se a proposta da atividade.

	sobre a produção cultural dos povos africanos.			
--	---	--	--	--

Fonte: elaborada pela autora.

Referências

ADAMS, Telmo; WALSH, Catherine (Ed.). *Pedagogías decoloniales: prácticas insurgentes de resistir, (re)existir y (re)vivir*. Tomo I. Quito, Ecuador: Ediciones Abya-Yala, 2013. **Práxis Educativa**, v. 10, n. 2, p. 585-590, 2015.

ADICHIE, Chimamanda. **O perigo de uma história única**. São Paulo: Companhia das Letras, 2018.

BEHIND the Doodle: Exclusive Music from Celebrating Mbira-Google, 2020. Disponível em: <https://www.google.com/doodles/celebrating-mbira>; <https://www.google.com/logos/2020/mbira/r5/mbira20.html?hl=pt-BR&ddl=1&doodle=122734981&gl=br>. Acessos em: 21 de nov. de 2022.

BRASIL. **Lei n. 10.639**, de 9 de janeiro de 2003. Altera a Lei n. 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, para incluir no currículo oficial da Rede de Ensino a obrigatoriedade da temática "História e Cultura Afro-Brasileira", e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 jan. 2003a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2003/L10.639.htm. Acesso em: 26 ago. 2021.

CARNEIRO, Sueli. **A construção do outro como não-ser como fundamento do ser**. 2005. Tese (Doutorado em Educação), Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

DANTAS, Jorge Ferreira. Para um ensino de Física afrocentrado no currículo do Ensino Médio Integrado de um Instituto Federal. **Práxis Educativa (Brasil)**, v. 17, p. 1-16, 2022.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. Editora Paz & Terra, 2021.

GUIMARÃES, Osvaldo; PIQUEIRA, José Roberto; CARRON, Wilson. **Física**. São Paulo: Ática, v. 1, 2013.

GOMES, Nilma Lino. O movimento negro e a intelectualidade negra descolonizando os currículos. **Decolonialidade e pensamento afrodiaspórico**. Belo Horizonte: Autêntica, p. 223-246, 2018.

MORAES, Vinícius de Oliveira. **Unidade de ensino potencialmente significativa para o estudo físico e musical da vibração de barras homogêneas por meio da análise experimental da kalimba**. 2022. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS), Recife, 2022.

NASCIMENTO, Abdias. **O quilombismo**. 2. ed. Brasília/Rio de Janeiro: Fundação Palmares/ OR Editor Produtor, 2002.

OLIVEIRA, Marta Kohl de. **Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento – um processo sócio-histórico**. São Paulo: Spione, 1993. (Pensamento e ação no magistério).

ORLANDI, Eni Pulcinelli. **Análise de Discurso: princípios e procedimentos**. 5. ed. Campinas: Pontes, 2005.

PINHEIRO, Bárbara C. S.; ROSA, Katemari. **Descolonizando saberes: a Lei n. 10.639/2003 no ensino de ciências.** São Paulo: Livraria da Física, 2018.

PINHEIRO, Bárbara. C. S. Educação em Ciências na Escola Democrática e as Relações Étnico-Raciais. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 19, p. 329-344, 2019.

ROCHA SILVA, Lídia; SANTOS, Bianca Martins. Uso do aplicativo decibelímetro (sound meter) para o estudo da diretividade do som: uma abordagem para o ensino médio. **Revista do Professor de Física**, v. 3, especial, p. 43-44, 2019.

ROSA, Katemari; ALVES-BRITO, Alan; PINHEIRO, Bárbara Carine Soares. Pós-verdade para quem? Fatos produzidos por uma ciência racista. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 37, n. 3, p. 1440-1468, 2020.

SNYDERS, Georges. **A Alegria na Escola.** São Paulo: Manole, 1988.

SILAMBO, Micas Orlando. **A prática de ensino de Mbira na música Moçambicana: aspectos didáticos e metodológicos.** In: Congresso Nacional da Abem, 2017.

SILVA, Helder. Kuiawinski. A cultura afro como norteadora da cultura brasileira. **Perspectiva**, v. 38, n. 144, p. 25-35, 2014. Disponível em: http://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva-/144_449.pdf. Acesso em: 27 jul. 2023.

SOBRAL, Cristiane. **Terra negra.** Rio de Janeiro: Malê, 2017.

SOUZA, Rodolfo Coelho. Um modelo de kalimba em Csound usado em livro dos sons. **Revista Música Hodie**, v. 11, n. 1, 2011.

WALSH, Catherine. Interculturalidad y colonialidad del poder. Un pensamiento y posicionamiento “otro” desde la diferencia colonial. **El giro decolonial: Reflexiones para una diversidad epistémica más allá del capitalismo global**, p. 47-62, 2007.

WALSH, Catherine (Ed.). **Pedagogías decoloniales: prácticas insurgentes de resistir, (re)existir y (re)vivir.** Tomo I. Quito: Ediciones Abya-Yala, 2013.