

## MODELOS COSMOLÓGICOS CONTEMPORÂNEOS COMO FERRAMENTAS PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA

**Denisson Pereira Santos**

denisson159@gmail.com

**Augustodos Santos Freitas**

asfisfsa@yahoo.com.br

**Antônio Marcos Silva de Lima**

maiksueu@gmail.com

**Resumo:** Propõe-se aqui um estudo sobre a utilização de conceitos relacionados a modelos cosmológicos contemporâneos como estratégia para a inserção do ensino de Física Moderna a estudantes do nível médio. A inclusão de temas relacionados à Física Moderna é muitas vezes negligenciada tornando-se quase que um apêndice em turmas do terceiro ano do médio. Uma das maneiras de aproximar os estudantes do ensino de Física é trabalhar com linguagem e temas que são familiares aos mesmos, a exemplo da discussão sobre a expansão e evolução do Universo, assunto muito debatido pelas mídias de uma maneira geral, mas pouco explorado em sala de aula. A pesquisa será fundamentalmente de revisão bibliográfica e serão analisados aspectos matemáticos, conceituais e filosóficos associados a cada modelo estudado, bem como o que vem sendo, por exemplo, descrito nas mídias (TV, internet, etc) sobre esses modelos e como essa descrição molda, de maneira equivocada ou não, as concepções dos estudantes acerca do que vem sendo estudado/descoberto pela Física do início do século XX até os dias atuais.

**Palavras-Chave:** Transposição didática; educação científica; modelagem matemática.

### INTRODUÇÃO

O ensino de Física Moderna a nível médio, apesar de esforços não tão recentes para incorporá-lo ao currículo, continua a ser negligenciado, o que manifesta aos estudantes a ideia de que a Física ou não avançou ou esteve desconectada dos avanços tecnológicos que transformaram o modo de vida do ser humano drasticamente do século XX até os

dias de hoje (OSTERMANN e MOREIRA, M. A., 2000). Os modelos trabalhados ao longo dos convencionais três anos do ensino médio datam, via de regra, de antes do século XX, o que pode deixar transparecer que a Física enquanto ciência “parou no tempo”.

Além do equívoco de se trabalhar a Física como uma ciência datada, há o grave problema de distanciar essa ciência dos diversos avanços tecnológicos que são utilizados pelos mesmos estudantes, algo que poderia motivá-los e tornar o ensino de Física mais atraente a esse público (BROCKINGTON e PIETROCOLA, 2016). A familiaridade dos estudantes com a utilização de equipamentos eletrônicos, a exemplo de *tablets* e *smartphones*, mostra que as descobertas da Física a partir do século XX, o que se denomina “Física Moderna”, faz parte do cotidiano dos estudantes, porém não é explorado. Tais descobertas mostram que a Física é uma ciência dinâmica, em constante modificação, e de extrema importância para o desenvolvimento tecnológico. Tal avanço da Física a partir do início do século XX, com o desenvolvimento, em especial, da Mecânica Quântica, pode ser utilizado como ponte até mesmo para ensinar conceitos e modelos associados a descobertas anteriores, mas que forneceram os alicerces para a construção das modernas teorias que permitiram, por exemplo, o desenvolvimento da microeletrônica. Algumas dessas descobertas, constantemente divulgadas, mas não exploradas de maneira mais aprofundada pelos meios de comunicação (tradicional ou não), estão relacionadas à

Cosmologia, uma área que sempre despertou interesse, mas que nasceu efetivamente como ciência no século XX. E tal área nasceu a partir dos fundamentos construídos com base nas descobertas da Física Moderna. Termos como “Big Bang”, “expansão cósmica acelerada”, “buracos negros”, “multiversos” dentre outros aparecem constantemente na “mídia” e podem servir de interessante ponto de partida para discutir os achados dos físicos a partir do século XX. Os modelos cosmológicos modernos começaram a surgir a partir do desenvolvimento, principalmente, da Teoria Geral da Relatividade de Albert Einstein (1879-1955), que descreve a gravidade como resultado da deformação do espaço-tempo contínuo, diferente da interpretação de ação à distância dada por Isaac Newton (1643-1727) por meio de sua lei da gravitação universal. A partir das descobertas de Edwin Hubble (1889-1953) de que o universo está se expandindo e de que as chamadas nebulosas eram galáxias fora da Via Láctea, começaram a ser desenvolvidos modelos para explicar, por exemplo, o porquê de tal expansão cósmica. Daí nasce a Cosmologia enquanto ciência (o estudo do macrocosmo). Esse estudo tanto se baseia quanto depende fundamentalmente dos conhecimentos desenvolvidos a partir das ideias da Física Moderna, ou seja, há vários conceitos relacionados à Teoria Geral da Relatividade e Mecânica Quântica que podem ser trabalhados através da discussão de tais modelos cosmológicos e a construção e modificação dos mesmos também diz muito sobre o processo de acumulação/evolução do conhecimento científico do século XX até os dias atuais. Como os estudantes têm contato frequente com esse tema na mídia, explorá-lo pode ser de extrema utilidade para facilitar a compreensão dos conceitos envolvidos com a Física Moderna e pouco discutidos a nível médio.

A partir da ideia inicial de Einstein que culminou num modelo de Universo estático, porém incorreto, investigar como

se pode discutir a evolução e limitações dos modelos científicos. Investigar como modelos cosmológicos que tentam unificar a descrição quântica com a relatividade, a exemplo do modelo descrito pela equação de Wheeler-DeWitt e interpretação de de Broglie-Bohm, podem ser úteis para discutir a dualidade onda partícula da matéria e radiação.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

De acordo com Gerhardt e Silveira (2009) “a pesquisa possibilita a aproximação e um entendimento da realidade a investigar, como um processo permanente inacabado”. A investigação, pesquisa em si, desenvolvida foi de cunho exclusivamente bibliográfico, de revisão bibliográfica. Foram analisados livros, artigos, resenhas, reportagens, resumos, resumos expandidos e trabalhos completos que envolvam a descrição dos modelos cosmológicos propriamente ditos, os conceitos a eles associados, os conceitos de Física Moderna que, a partir de tais modelos, podem ou não ser trabalhados em sala de aula com alunos do ensino médio, bem como verificar os caminhos a princípio mais adequados para uma introdução à Física Moderna via modelos cosmológicos modernos. Isso caracteriza essa pesquisa como fundamentalmente qualitativa, descritiva e de revisão bibliográfica.

Foram analisados aspectos matemáticos, conceituais e filosóficos associados a cada modelo estudado, bem como o que vem sendo, por exemplo, descrito nas mídias (TV, internet, etc) sobre esses modelos e como essa descrição molda, de maneira equivocada ou não, as concepções dos estudantes acerca do que vem sendo estudado/descoberto pela Física do início do século XX até os dias atuais.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Algo de grande importância a ser estudado antes das análises dos modelos é a métrica do

sistema. A métrica é uma função matemática que ao fornecer as informações básicas sobre a estrutura do espaço-tempo, o que caracteriza a gravidade, permite a descrição física completa do campo gravitacional associado, a evolução e dinâmica do sistema físico estudado, sendo este um aglomerado de galáxias ou o Universo como um todo. Um exemplo de métrica, muito usada no modelo de Wheeler-DeWitt para evolução de um universo plano, por exemplo, é descrita como segue. Segundo Cattani (1998), a forma quadrática fundamental (ou simplesmente elemento de linha do espaço métrico) é definida como:

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$$

Sendo  $g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}$  o tensor métrico (JACKSON, 1983, p. 412). O tensor métrico relacionado à métrica de Minkowski é:

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Dessa forma,

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

em que  $c$  é velocidade da luz,  $dt$  é um intervalo infinitesimal de tempo,  $dx$ ,  $dy$  e  $dz$  são variações infinitesimais de variáveis espaciais. Se a geometria do universo for plana, o mesmo irá se expandir indefinidamente. Com base nos estudos de Yves Chevallard (1998) e o conceito de transposição didática, o docente tem um leque de possibilidades referentes ao uso desses conceitos e mesmo a falta de rigor matemático não prejudicará as discussões em sala de aula. Uma maneira simples de fazer essa conexão é mostrar a métrica no espaço plano de duas dimensões descrito através de um disco de raio igual a 1:

$$\Delta x^2 + \Delta y^2 = 1$$

e conectar ao ensino de cinemática em duas dimensões, mostrando que a trajetória parabólica de um projétil é determinada pelo fato de o espaço ser plano e a gravidade ser constante nas vizinhanças da superfície da Terra.

Outra métrica bastante conhecida é a de Friedmann-Robertson-Walker, já que a mesma expressa homogeneidade e isotropia do espaço-tempo, o tensor métrico associado a essa métrica é definido como (NOVELLO, 2010):

$$g_{\mu\nu} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-R^2}{1 - kr^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -R^2 r^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -R^2 r^2 \sin^2 \theta \end{bmatrix}$$

Dessa forma,

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R(t)^2 \left[ \frac{dr^2}{(1 - kr^2)} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\varphi^2 \right]$$

Essa métrica representa um espaço curvo típico. A letra  $k$  representa a curvatura do espaço e a mesma pode assumir os seguintes valores:

- $k > 0$  Curvatura positiva (universo fechado)
- $k = 0$  Curvatura nula (universo plano)
- $k < 0$  Curvatura negativa (universo aberto)

Esse formalismo diferente foge da geometria plana que os alunos de ensino médio estão acostumados, o docente pode trabalhar na soma dos ângulos internos de um triângulo de um espaço aberto. Uma analogia é a descrição de espaços curvos, por exemplo do tipo esférico, o que pode ser utilizado para o ensino de conceitos, leis de conservação associados ao movimento de rotação de partículas e corpos rígidos, por exemplo da definição de grandezas como momento angular e torque, bem como o princípio da conservação do momento angular.

Em se tratando de uma introdução a análises dos modelos cosmológicos, uma muito interessante é aquela relacionada ao modelo cosmológico de Einstein, segundo Novello (2010) referente aos estudos da Relatividade Geral, Albert Einstein foi conduzido à expressão:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = -T_{\mu\nu}$$

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = -T_{\mu\nu},$$

em que  $\Lambda$  tem dimensão de 1/[comprimento] e a mesma é chamada de constante cosmológica e referente essa constante, o docente em atuação pode fazer uma abordagem histórica sobre o artifício matemático realizado por Albert Einstein de introduzir esse termo para que a sua teoria resultasse em um universo estático.

Na pesquisa dos conteúdos para inserção da física moderna foi reunido livros do ensino médio (um dos principais está à coleção do Alberto Gaspar) para servirem de fonte para os tópicos nos quais os modelos serviram de aplicação, dentre esses tópicos destacam-se:

- Gravitação universal: grande densidade de um universo pós Big Bang e o aprisionamento da radiação cósmica de fundo.
- Ondas luminosas: efeito Doppler e o seu papel para o descobrimento da expansão do universo, radiação cósmica de fundo e sua importância para investigação do passado.
- Segunda lei da termodinâmica e entropia: seta do tempo termodinâmica e seta do tempo cosmológica (neste tópico o livro Curso de Física Básica volume 2, 5ª ed. Do Moysés Nussenzveig, traz uma série de comentários bastante rico).
- As equações de Maxwell e as ondas eletromagnéticas: um modo puramente analítico para extrair o valor da velocidade da luz no vácuo

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

- Relatividade: dilatação temporal, contração espacial, energia relativística e a teoria da relatividade geral.

- Física quântica: estudo do corpo negro e suas aplicações para estrelas (lei de deslocamento de Wien), radiação Hawking e os estudos de buracos negros.

- Física nuclear: fusão nuclear e seu papel na origem das estrelas.

## CONCLUSÕES

Como visto, há muitas maneiras de usar a cosmologia como aplicação para o ensino de física, e mesmo tratando-se de um conteúdo de física moderna a inserção do mesmo pode ser feita em qualquer série do ensino médio. A utilização dos modelos requer um conhecimento firme e maduro do docente atuante, porém para que o professor não se frustre ao utilizar da transposição em conteúdos avançados da física, o mesmo deve-se conhecer a teoria de Yves Chevallard para que consiga extrair o máximo possível dessa técnica. Pode-se usar a transposição didática principalmente para modernizar o saber escolar, atualizar o saber a ensinar, articular o saber “novo” com o “antigo” e transformar um saber em exercícios e problemas, além de facilitar a assimilação de conceitos que exigem um pouco mais de abstração dos estudantes.

## REFERÊNCIAS

- BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as Regras da Transposição Didática Aplicáveis aos Conceitos de Física Moderna?. *Invest. Ens. Ciên.*, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2016.
- CHEVALLARD, Y. **La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado.** Aique, 1998.
- CATTANI, M. Dedução das Equações da Teoria de Gravitação de Einstein em um Curso de Graduação. *Rev. Bras. Ens. Fís.*, vol. 20, n. 1, março, 1998.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

JACSON, John David. **Eletrodinâmica Clássica**. Guanabara Dois, 2 ed. Tradução: Annita Macedo e Horácio Machado. Rio de Janeiro- RJ, 1983.

NOVELLO, M. **Cosmologia**. vol. 4 São Paulo Livraria da física, 2010.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa” Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Invest. Ens. Ciên.**. Porto Alegre. Vol. 5, n. 1 (jan./abr. 2000), p. 23-48, 2000.