



UNIVERSIDADE FEDERAL DO NORTE DO TOCANTINS - UFNT  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF  
POLO 61

Ayla Pinheiro dos Reis de Souza

## **PRODUTO EDUCACIONAL**

SEQUÊNCIA DIDÁTICA:  
O USO DAS METODOLOGIAS ATIVAS DE ENSINO COMO  
FERRAMENTA DE PESQUISA E ANÁLISE DE ARTIGOS DE  
DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: Com ênfase na Escala de Planck.

Araguaína - TO  
2024

Ayla Pinheiro dos Reis de Souza

SEQUÊNCIA DIDÁTICA:  
O USO DAS METODOLOGIAS ATIVAS DE ENSINO COMO FERRAMENTA DE  
PESQUISA E ANÁLISE DE ARTIGOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: Com ênfase na  
Escala de Planck.

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: SEQUÊNCIA DIDÁTICA: O USO DAS METODOLOGIAS ATIVAS DE ENSINO COMO FERRAMENTA DE PESQUISA E ANÁLISE DE ARTIGOS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: Com ênfase na Escala de Planck, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 61 – UFNT / TO, Araguaína - TO, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(es):

Nome do Orientador: Matheus Pereira Lobo

Nome do Orientador 2

Araguaína - TO  
2024

## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus por ter me mantido firme durante toda a caminhada e por ter me dado a sabedoria necessária para contornar os obstáculos e vencer os desafios que surgiram ao longo dessa trajetória desafiadora que foi o MNPEF.

Agradeço à minha família, em especial aos meus filhos e meu esposo, por toda a compreensão que tiveram acerca dos problemas surgidos em decorrência das viagens semanais e da falta de tempo compartilhado com eles. Além do curso, havia o trabalho que precisava ser desenvolvido em paralelo às aulas, avaliações, trabalhos escolares e toda a dedicação que o curso exigia.

Agradeço à minha irmã, Aylizara Pinheiro dos Reis, por ter sido mais que uma apoiadora e um suporte nessa etapa tão importante da minha vida; ela foi um exemplo e uma inspiração.

Em especial, agradeço ao meu Orientador, Matheus Pereira Lobo, pela paciência, dedicação e parceria durante todo o período de realização do trabalho desenvolvido.

Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001, à qual dedico minha imensa gratidão, pois sem a bolsa recebida durante o curso, seria impossível o deslocamento para alcançar essa vitória.

## Sumário

<b><u>1. APRESENTAÇÃO.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
<b><u>2. OBJETIVOS.....</u></b>	<b><u>6</u></b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
<b><u>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</u></b>	<b><u>6</u></b>
3.1 O USO DA ESCALA DE PLANCK.....	7
3.2 UNIDADES BÁSICAS DA ESCALA DE PLANCK.....	8
<b><u>4. SEQUÊNCIA DIDÁTICA: SURGIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA NO BRASIL .....</u></b>	<b><u>9</u></b>
4.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA PROPOSTA .....	12
<b><u>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</u></b>	<b><u>15</u></b>
<b><u>6. REFERÊNCIAS .....</u></b>	<b><u>16</u></b>
<b><u>APÊNDICE.....</u></b>	<b><u>17</u></b>

# 1. Apresentação

O presente trabalho consiste em uma sequência didática de ensino que orienta o trabalho de pesquisa de artigos de divulgação científica nas séries finais do Ensino Médio, com foco no estudo da Escala de Planck. Tal pesquisa é fundamental para os alunos dessas turmas, pois lhes proporciona a oportunidade de colocar em prática suas habilidades de pesquisa, interpretação, análise e produção de conhecimento com base em descobertas recentes no campo da Física. Além disso, demonstra a importância de estarem atualizados sobre as constantes descobertas que acontecem na natureza, justificando-se pela relevância de conhecer temas atuais e discutidos na área de Ciências da Natureza dentro do Ensino Médio. Isso, ao mesmo tempo, estimula os alunos a se envolverem na produção e estudo de temas importantes.

Além disso, em conjunto com as ferramentas tecnológicas e o uso de IA (Inteligência Artificial), os alunos aprimorarão seu domínio tecnológico e desenvolvendo seu protagonismo juvenil por meio do uso de metodologias ativas. Dessa forma, os educandos serão preparados para as demandas futuras do mercado de trabalho, além de promoverem o desenvolvimento de habilidades tecnológicas essenciais. Nesse contexto, podemos ainda citar a indispensabilidade da IA na educação e, portanto, a inserção desse tema no presente trabalho, pois ela oferece a possibilidade de uma aprendizagem mais personalizada, flexível, inclusiva e envolvente. As ferramentas fornecem informações não apenas sobre o que está sendo aprendido, mas também sobre como está sendo aprendido e como os alunos estão se sentindo.

A sequência didática foi desenvolvida em um primeiro momento, contendo uma apresentação do trabalho. Em seguida, foi realizada a divisão da aplicação em momentos específicos que serão detalhados na metodologia do trabalho. Finalmente, haverá o momento de culminância das atividades realizadas, por meio da ferramenta de metodologias ativas, a sala de aula invertida.

O trabalho também conta com a utilização de ferramentas tecnológicas e o uso de Inteligência Artificial como ferramentas de pesquisa e suporte. Dessa forma, ele será desenvolvido pelos próprios alunos com o auxílio do professor e das ferramentas disponibilizadas, estimulando-os a desenvolver suas capacidades como protagonistas de seu aprendizado.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo Geral

Propor aos professores do Ensino Médio uma sugestão de material baseado no trabalho de Interpretação, Pesquisa e Análise de Temas Atuais sobre a Física, utilizando a Inteligência Artificial (IA) como ferramenta de apoio.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Compreender a Física como um tema que necessita de estudo constante, devido às descobertas físicas estarem em constante progresso, e relacioná-las às suas aplicações na Física do cotidiano;
- Conhecer a ferramenta IA (Inteligência Artificial) e suas aplicações no processo de ensino e aprendizagem;
- Utilizar ferramentas tecnológicas para a demonstração de fenômenos físicos;
- Analisar fenômenos físicos que envolvam descobertas recentes na área da Física;
- Despertar a curiosidade e o interesse pela Física, além de explorar as ferramentas tecnológicas dentro da sala de aula.

## 3. Fundamentação Teórica

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN):

“A presença do conhecimento de Física no Ensino Médio ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCN. Trata-se de construir uma visão da Física voltada para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com instrumentos para compreender, intervir e participar na realidade. Nesse sentido, mesmo os jovens que, após a conclusão do ensino médio, não venham a ter mais qualquer contato escolar com o conhecimento em Física, em outras instâncias profissionais ou universitárias, ainda assim terão adquirido a formação necessária para compreender e participar do mundo em que vivem.” (BRASIL, 1999, p. 27)

O conteúdo referente ao estudo da Escala de Planck é de grande relevância por ser uma escala de comprimento teórica que representa a menor escala de comprimento possível no universo, de acordo com a física quântica. Essa escala, proposta pelo físico alemão Max Planck, está intimamente relacionada com os conceitos de mecânica quântica e gravidade quântica.

A teoria de Planck, também conhecida como teoria quântica de Planck, foi desenvolvida por Max Planck em 1900 para explicar a radiação do corpo negro. Planck propôs que a energia emitida por um corpo negro só poderia ocorrer em múltiplos inteiros de uma quantidade mínima de energia, chamada "quantum de energia". Essa teoria foi fundamental para o desenvolvimento da física quântica.

Nosso produto educacional sobre a Escala de Planck tem como objetivo explorar os fundamentos teóricos por trás dessa escala, assim como suas implicações para a compreensão da natureza do universo em níveis microscópicos. Ao longo do trabalho, os participantes terão a oportunidade de mergulhar nas fronteiras da física moderna e expandir seu conhecimento sobre os limites da nossa compreensão do cosmos, além de trabalhar diretamente suas habilidades tecnológicas e de protagonismo juvenil, despertando assim a capacidade de pesquisa e criação de conhecimento cognitivo.

### **3.1 O uso da Escala de Planck**

Os estudos sobre a Escala de Planck iniciaram-se pela compreensão dos fótons, que são as partículas fundamentais da natureza que compõem a luz e funcionam como mediadoras da interação eletromagnética. Os fótons possuem massa de repouso igual a zero e se deslocam no espaço à velocidade da luz, que é a velocidade máxima permitida de acordo com a Relatividade Especial.

Com o advento da Mecânica Quântica no início do século XX, surgiram novos conceitos e ocorreram modificações em outros já existentes, causando uma verdadeira revolução no campo da Física. Essa revolução permitiu compreender a luz como tendo um caráter dual, com comportamentos corpusculares e ondulatórios.

A ideia de tratar a energia de forma descontínua, ou seja, discretizada, foi proposta por Max Planck, renomado físico alemão do final do século XIX e início do século XX. Em 1900, Planck introduziu o conceito de quantização da energia ao estudar o problema da radiação do corpo negro. Ele percebeu que a radiação eletromagnética emitida por corpos negros só poderia ser explicada se a energia fosse considerada como sendo emitida em pacotes discretos, ou "quanta". Essa descoberta revolucionou a física, pois contradizia a visão clássica de que a energia poderia ser emitida ou absorvida de forma contínua, sem limites.

A teoria dos quanta de energia proposta por Planck foi um dos pilares para o desenvolvimento da mecânica quântica, uma das teorias mais importantes da física moderna. A

partir desse conceito, outros físicos como Albert Einstein e Niels Bohr avançaram no estudo da natureza discreta da energia, levando a importantes descobertas e avanços científicos.

Assim, a ideia de tratar a energia de forma descontínua, ou discretizada, foi fundamental para o avanço da física e compreensão do mundo subatômico, transformando nossa visão sobre a natureza da energia e da matéria e originando a denominação da teoria quântica.

Max Planck, renomado físico alemão, foi responsável por encontrar uma forma de representar as unidades básicas do Sistema Internacional de Unidades (SI) por meio de constantes físicas fundamentais. Em 1900, Planck introduziu a constante de Planck, representada por  $h$ , que é uma constante fundamental da mecânica quântica.

A constante de Planck, juntamente com outras constantes físicas como a velocidade da luz no vácuo, a carga elementar e a constante gravitacional, foi essencial para a definição das unidades básicas do SI. Por exemplo, a constante de Planck está diretamente relacionada com a unidade de medida de energia, o joule, e a unidade de medida de ação, o joule-segundo.

Além disso, a constante de Planck está associada à unidade de medida de massa, o quilograma, por meio da relação entre a energia e a massa. Com base nessa constante, Planck estabeleceu uma base teórica para a definição das unidades básicas do SI, contribuindo significativamente para a padronização e compreensão das medidas físicas em todo o mundo.

Portanto, a forma que Planck encontrou para representar as unidades básicas do Sistema Internacional de Unidades foi por meio da introdução de constantes físicas fundamentais, como a constante de Planck, que desempenham um papel crucial na definição e compreensão das grandezas físicas fundamentais. Essas formas de representar as unidades ficaram conhecidas como Escala de Planck e os significados e interpretações físicas desses valores têm sido buscados desde então.

### **3.2 Unidades Básicas da Escala de Planck**

As cinco unidades básicas da Escala de Planck são: comprimento, tempo, massa, energia e temperatura. As três principais grandezas envolvidas na escala de Planck são:  $c$  (Velocidade da Luz no vácuo),  $G$  (Constante Gravitacional) e  $h$  (Constante de Planck). Com a análise dimensional entre elas, é possível encontrar as unidades básicas para cada uma das medidas mencionadas, ou seja, as unidades básicas da Escala. Para evitar sobrecarregar as notações, utilizamos a seguinte convenção:  $[h] = h$ ,  $[G] = G$ ,  $[c] = c$ . Dessa forma, conhecendo os

valores numéricos e suas respectivas unidades, temos:  $G = 6,67 \cdot 10^{11} Nm^2Kg^2$  (ou  $\frac{m^3}{Kgs^2}$ ),  
 $C = 3,00 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ ,  $h = 6,60 \cdot 10^{-34} J/s$ .

GRANDEZA	EQUAÇÃO	VALOR NUMÉRICO / UNIDADE(SI)
<b>Comprimento de Planck (<math>l_p</math>)</b>	$\sqrt{h \cdot G/c^3}$	$1,6 \cdot 10^{-35} m$
<b>Tempo de Planck (<math>t_p</math>)</b>	$\sqrt{h \cdot G/c^5}$	$5,4 \cdot 10^{-44} s$
<b>Massa de Planck (<math>M_p</math>)</b>	$\sqrt{h \cdot c/G}$	$2,2 \cdot 10^{-8} kg$
<b>Energia de Planck (<math>E_p</math>)</b>	$\sqrt{h \cdot c^5/G}$	$1,956 \cdot 10^{-9} J$
<b>Temperatura de Planck (<math>T_p</math>)</b>	$\sqrt{h \cdot c^5/G \cdot KB^2}$	$1,4 \cdot 10^{32} K$

A forma de representação das unidades ficou conhecida como escala de Planck e, desde então, estão sendo buscados os significados e interpretações físicas destes valores. Para termos uma mínima noção do tamanho ínfimo desses valores, considere que o ser humano está mais próximo do tamanho do universo do que do comprimento de Planck. Além disso, vale mencionar que o tempo e o comprimento de Planck estão associados às menores quantidades do universo fisicamente realizáveis, sendo assim, relacionados intimamente com a Mecânica Quântica.

Por outro lado, as demais grandezas presentes na tabela (massa, energia e temperatura de Planck) possuem característica oposta, sendo muito grandes quando comparadas com os fenômenos observáveis no âmbito das partículas elementares.

## 4. Sequência Didática: Surgimento da Sequência Didática no Brasil

A sequência didática é um conceito fundamental no campo da educação, referindo-se a um conjunto organizado de passos ou etapas sequenciais destinadas a tornar o processo de ensino-aprendizagem mais eficiente. No Brasil, esse termo ganhou destaque nos documentos oficiais dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), sendo inicialmente apresentado como "projetos" e "atividades sequenciadas". Este texto explora a origem e evolução do conceito de sequência didática no Brasil, desde sua introdução até sua aplicação contemporânea.

**Origem e Primeiros Passos:** O termo "sequência didática" foi introduzido nos Parâmetros Curriculares Nacionais, um conjunto de diretrizes desenvolvido para padronizar e melhorar a qualidade do ensino nas escolas brasileiras. Nos documentos iniciais, essas sequências eram descritas como "projetos" e "atividades sequenciadas", enfatizando a importância de uma estrutura organizada no processo educativo.

**Objetivos e Flexibilidade Inicial:** Originalmente, as sequências didáticas eram abertas a diferentes objetos do conhecimento, permitindo uma aplicação flexível que poderia abranger várias disciplinas e conteúdos. Esse formato inicial visava proporcionar uma estrutura pedagógica que pudesse ser adaptada às necessidades específicas de cada contexto educacional.

**Evolução e Foco no Gênero Textual:** Com o passar do tempo, a aplicação das sequências didáticas passou a se concentrar mais no estudo dos gêneros textuais. Isso ocorreu devido à crescente ênfase na importância de desenvolver habilidades de leitura e escrita nos estudantes, reconhecendo que o domínio de diferentes gêneros textuais é crucial para a competência comunicativa.

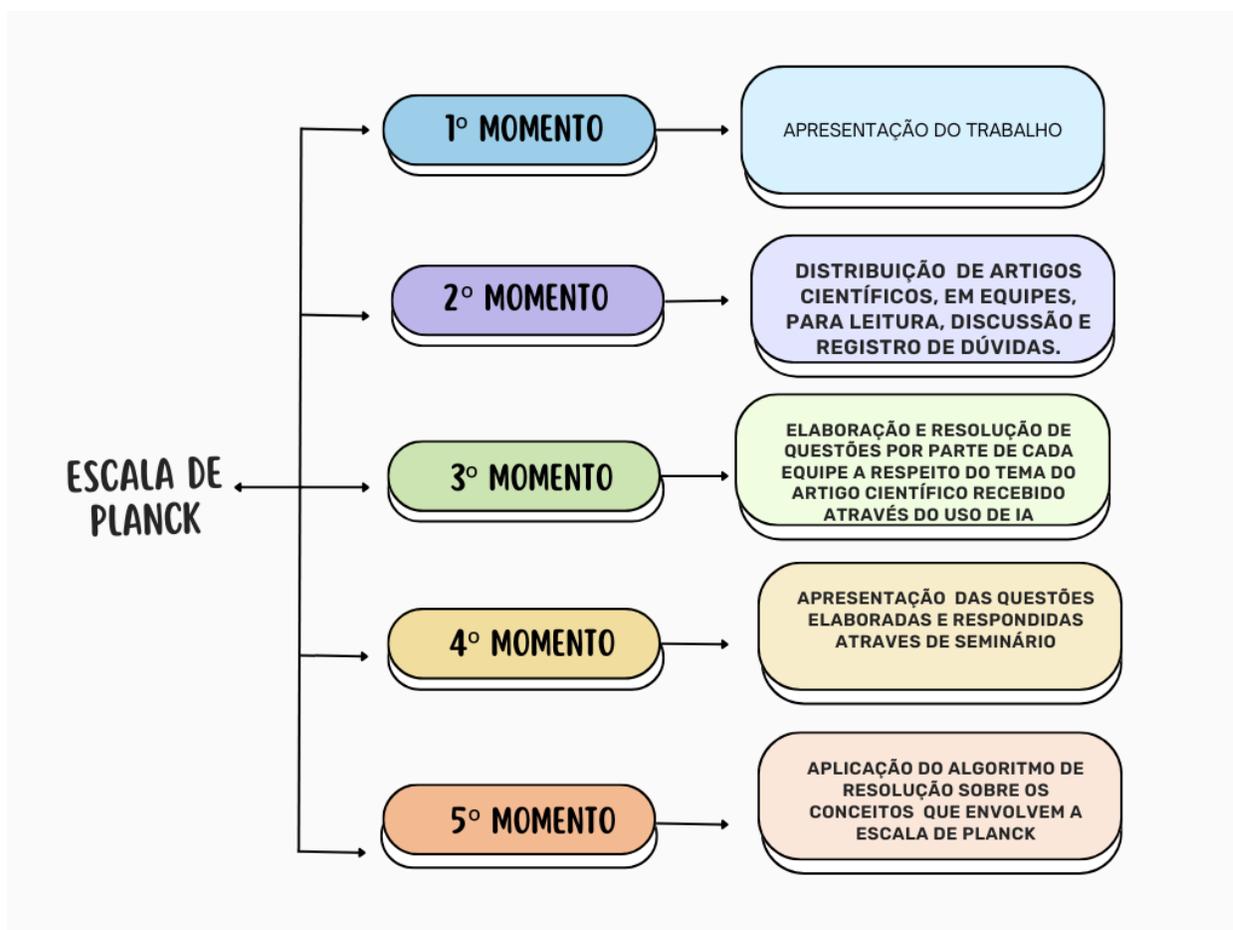
**Integração com o Gênero Textual:** Atualmente, as sequências didáticas são frequentemente utilizadas para organizar o ensino de gêneros textuais específicos. Essa abordagem ajuda os estudantes a compreenderem melhor as características e finalidades de diferentes tipos de textos, promovendo um aprendizado mais profundo e contextualizado.

**Estrutura das Sequências Didáticas:** Uma sequência didática típica é composta por cinco momentos principais, conforme ilustrado no fluxograma abaixo:

1. **Diagnóstico Inicial:** Avaliação das necessidades e conhecimentos prévios dos estudantes.
2. **Planejamento:** Definição dos objetivos de aprendizado e seleção dos materiais e recursos didáticos.
3. **Execução:** Realização das atividades sequenciais, seguindo o planejamento estabelecido.
4. **Avaliação:** Verificação do progresso dos estudantes e identificação de possíveis ajustes necessários.
5. **Reflexão:** Análise dos resultados e reflexão sobre o processo de ensino-aprendizagem, visando melhorias futuras.

O conceito de sequência didática tem se mostrado uma ferramenta poderosa no contexto educacional brasileiro, evoluindo desde sua introdução nos PCNs até sua aplicação atual focada nos gêneros textuais. Sua estrutura organizada em etapas sequenciais contribui para um ensino mais eficaz e significativo, adaptável a diferentes contextos e necessidades educativas.

Essa estrutura básica do conteúdo pode ser ajustada e expandida conforme necessário para atender a requisitos específicos de formato, público-alvo e detalhes adicionais que você possa desejar incluir. Sendo assim, a sequência didática proposta obedeceu ao planejamento da seguinte figura.



As sequências didáticas são planejadas e desenvolvidas para a realização de determinados objetivos educacionais, com início e fim conhecidos tanto pelos professores quanto pelos alunos. Para compreender o valor pedagógico e as razões que justificam uma sequência didática, é fundamental identificar suas fases, as atividades que a constituem e as relações que estabelecem com o objeto de conhecimento, visando atender às verdadeiras necessidades dos alunos. Para que uma sequência didática obtenha sucesso, é necessário seguir passos que, obrigatoriamente, devem ser respeitados. A proposta da sequência didática do presente trabalho será apresentada de maneira detalhada na sessão seguinte.

## 4.1 Sequência Didática Proposta

A proposta do trabalho é fazer uma abordagem inicial do tema através de exposição oral, ou seja, divulgação científica, por parte do professor, para que os alunos possam ter um primeiro contato com o assunto a ser trabalhado. Posteriormente, os seguintes momentos serão realizados. O tempo planejado para o desenvolvimento do trabalho será de 8 aulas, divididas da seguinte forma:

### **Primeiro Momento: Apresentação do Trabalho** (composto por uma hora-aula)

Realização da apresentação do trabalho iniciando com uma abordagem sobre "A Importância da Leitura e Análise de Artigos Científicos". A apresentação ocorrerá em plenário e será o momento em que o professor introduzirá o tema proposto para o trabalho, e os artigos que serão explorados, fazendo uso de recursos audiovisuais (slides). Além disso, será sugerida a criação de um mural que inicialmente conterá informações básicas sobre o tema em questão, e que posteriormente será complementado pelos alunos como forma de concluir o trabalho.

### **Segundo Momento: Divisão dos Alunos em Equipes para a Realização do Trabalho** (com duração de uma hora-aula)

Será providenciado um espaço designado para a divisão das equipes que irão trabalhar em conjunto. Este espaço consistirá de cinco mesas, cada uma equipada com um computador com acesso à internet e com o artigo específico já aberto. Cada equipe irá selecionar aleatoriamente uma das mesas, o que determinará o artigo que será abordado em seu trabalho. Os temas dos artigos foram previamente descritos para permitir que os alunos tenham um primeiro contato com eles.

Após essa seleção, o professor apresentará um vídeo sobre Inteligência Artificial, destacando a importância de sua utilização e fazendo uma breve demonstração do uso do GPT. Em seguida, fornecerá orientações para os próximos passos, utilizando o data-show. Posteriormente, os alunos, organizados em equipes, deverão realizar a leitura dos conteúdos, discutir os temas abordados e registrar as dúvidas que surgirem durante o processo. Essa estratégia tem como objetivo facilitar a compreensão e preparar os alunos para a próxima etapa.

Se precisar de mais alguma coisa, estou à disposição!

### **Artigos Pré-selecionados:**

1. Emaranhamento quântico desaparece repentinamente

<https://bit.ly/3XhHqYz>

2. Elétron se divide e torna-se fração de si mesmo no grafeno  
<https://bit.ly/3wzdOdS>
3. Novas observações reforçam modelos da gravidade quântica  
<https://bit.ly/4en76Jq>
4. Nova teoria tenta unificar espaço-tempo de Einstein com a mecânica quântica  
<https://bit.ly/45EyZJ7>
5. Ímã levitando poderá dizer se a gravidade é quântica ou não  
<https://bit.ly/42UnRq2>

**Terceiro Momento: Desenvolvimento do Trabalho com o Auxílio da IA** (duração de duas horas-aula)

Neste momento, os alunos terão a tarefa de elaborar questões relacionadas às dúvidas registradas anteriormente. Essas questões devem ser formuladas de forma a guiar o aluno na aquisição e produção de conhecimento científico. Posteriormente, as perguntas serão coletadas pelo professor para serem respondidas utilizando a tecnologia de Inteligência Artificial (GPT-3.5).

Em trabalho colaborativo, os alunos deverão utilizar a Inteligência Artificial para pesquisar respostas para as questões elaboradas anteriormente. Durante esse processo, novas indagações surgirão e os alunos seguirão investigando até que todas as dúvidas sobre o tema do artigo fornecido sejam esclarecidas. Essa abordagem estimula a pesquisa e desperta a curiosidade dos alunos ao longo da atividade.

A proposta das atividades práticas consiste no uso de tecnologias, tais como celulares, projetores, computadores e aplicativos como o "GPT-3.5", que utilizam a Inteligência Artificial como suporte para a execução das tarefas.

**Quarto Momento: Apresentação dos Trabalhos Desenvolvidos** (duração de duas horas-aula)

Através da ferramenta do "seminário", que integra as metodologias ativas de ensino, cada equipe fará a apresentação do trabalho realizado utilizando os recursos de sua preferência. A escolha será deixada à criatividade de cada equipe, que poderá explorar diferentes

metodologias de apresentação, como a utilização de mapas mentais ou conceituais, maquetes, produção de materiais durante o trabalho, e outras abordagens criativas disponíveis.

**Quinto Momento: Aplicação do Algoritmo de Resolução** (duração de duas horas-aula)

Neste momento, será trabalhado um Algoritmo de Resolução relacionado ao tema abordado, com o intuito de guiar os alunos na demonstração de grandezas físicas associadas à Escala de Planck, visando trabalhar conceitos por meio da aplicação matemática. Por ser uma sequência finita e bem definida de passos ou instruções utilizadas para resolver um problema específico ou executar uma tarefa particular e possuir passos que são sistematicamente estruturados para garantir que, quando seguidos corretamente, levarão à solução desejada, se torna uma ferramenta indispensável no processo de ensino e aprendizagem por ser claro e preciso.

Sendo assim, o algoritmo desenvolvido é composto por passos claros e precisos, que levarão os alunos a deduzir as equações de cálculo para o Comprimento de Planck, Tempo de Planck, Massa de Planck, Energia de Planck e Temperatura de Planck. O resultado deste momento será verificado pelo desenvolvimento dos alunos nas demonstrações apresentadas durante a resolução do algoritmo. Esses resultados serão inseridos no mural produzido no início do trabalho, servindo como constatação da aprendizagem adquirida e encerramento dos momentos do processo de trabalho.

O trabalho proposto é relevante por abordar temas importantes, como metodologias ativas de ensino, que despertam no aluno o instinto de protagonismo ao colocá-lo como produtor de seu próprio conhecimento. Além disso, o uso de inteligência artificial e ferramentas tecnológicas estimula a curiosidade e o interesse pelo conhecimento tecnológico. Essa abordagem torna o aprendizado mais agradável e prazeroso para os alunos.

## 5. Considerações Finais

Caro professor,

A discussão acerca do tema proposto é muito ampla, porém a escolha foi feita devido à importância do conhecimento do mesmo. Entendemos que é indispensável a discussão e o estudo de temas que estabeleçam relação entre o senso comum e o conhecimento científico, como ocorre com o tema em questão, focado na compreensão das unidades relacionadas à Escala de Planck, que pode se tornar uma das mais promissoras da Física se devidamente compreendida, principalmente no que se refere à informação quântica.

Atualmente, a Escala de Planck representa os processos envolvidos nas mínimas unidades do nosso universo, e, portanto, sua natureza quântica é inerente. Grandes questões científicas que ainda são desconhecidas ou não foram respondidas são permeadas pelas informações fornecidas pela Escala de Planck, as quais servem como subsídios teóricos para ampliar as teorias já existentes.

A Mecânica Quântica representa uma das teorias de maior êxito de todos os tempos devido à oferta, por meio de suas descobertas, da possibilidade de ampliação do nosso entendimento acerca das leis naturais, bem como da contribuição para uma revolução tecnológica em nossa sociedade moderna.

Todos os momentos descritos nesta Sequência Didática estão sujeitos a alterações de acordo com a conveniência do professor. As questões a serem elaboradas devem estar de acordo com o tema proposto. O texto pode ser montado pelo professor ou escolhido nas fontes literárias disponíveis. Quanto às demonstrações matemáticas, também há flexibilidade e isso se mantém em todos os momentos.

Gostaria de deixar claro que o uso de tecnologias, especialmente o auxílio da Inteligência Artificial, se faz necessário, pois trata-se do elemento modificador nesta Sequência Didática e também por se tratar de um assunto em constante discussão e análise dentro do processo de ensino e aprendizagem.

## 6. Referências

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Brasília: MEC, 1999. p. X.

Ministério da Educação (Brasil). Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs). Introdução aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: MEC / SEF, 1997.

SANTOS, Caio M., et al. "Uma proposta didático-matemática para o uso da escala de Planck: dos fótons aos buracos negros." Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 42, 2020.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018.

SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Emaranhamento quântico desaparece repentinamente. 15 jun. 2007. Disponível em:

<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=emaranhamento-quantico-desaparece-repentinamente>. Acesso em: 24 maio 2024.

SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Elétron se divide e torna-se fração de si mesmo no grafeno. 22 fev. 2024. Disponível em:

<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=eletron-se-divide-torna-se-fracao-si-mesmo-grafeno>. Acesso em: 25 maio 2024.

SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Ímã levitando poderá dizer se gravidade é quântica ou não. 28 fev. 2024. Disponível em:

<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=ima-levitando-podera-dizer-se-gravidade-quantica-ou-nao>. Acesso em: 25 maio 2024.

LOBO, M. P.; GOMES, S. L. R.; ALENCAR, E. A.; SANTOS, C. M. F. Teleporte de uma Partícula: um Protocolo no Contexto do Ensino Médio. Física na Escola, v. 26, p. 18-21, 2018.

SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Novas observações reforçam modelos da gravidade quântica. 23 jun. 2023. Disponível em:

<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=gravidade-quantica-ganha-pontos-neutrinos-explosoes-raios-gama>. Acesso em: 25 maio 2024.

SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Nova teoria tenta unificar espaço-tempo de Einstein com a mecânica quântica. 06 dez. 2023. Disponível em:

<https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=teoria-unir-relatividade-einstein-mecanica-quantica>. Acesso em: 25 maio 2024.

## APÊNDICE



[white paper]

Diamond Open Access

[awaiting peer review]

# Explorando a Escala de Planck

Colaboração Quântica Aberta<sup>1</sup>

19 de Junho de 2024

## Resumo

Apresentamos um algoritmo de resolução, com o intuito de guiar o leitor na demonstração de grandezas físicas associadas à escala de Planck.

palavras-chave: análise dimensional, escala de Planck, algoritmo de resolução, vácuo quântico

*A versão mais atualizada deste white paper está disponível em*  
<https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.12174358>

## Apresentação

1. Este é um Algoritmo de Resolução (AR).
2. Um AR é um material didático intermediário, que está entre o gabarito e a resolução de um problema, pois ele apresenta um pouco de conteúdo, mesclado com algumas atividades.
3. Leia atentamente o conteúdo e nas questões do tipo “mostre que”, explique e explique todos os passos envolvidos na respectiva demonstração.
4. Tenha em mãos papel e caneta, e embarque nesta divertida jornada!

<sup>1</sup>Todos os autores com suas afiliações aparecem no final deste white paper.

# Introdução

5. Neste white paper pedagógico, fazemos a análise dimensional de importantes grandezas físicas para estudar a menor escala fisicamente possível, denominada escala de Planck [1].
6. A notação  $[x]$  é utilizada para representar as unidades físicas envolvidas em uma dada grandeza  $x$ .
7. Por exemplo, como a unidade da velocidade é metros por segundo, escrevemos  $[v] = \text{m/s}$ .
8. Utilizamos o Sistema Internacional de Unidades (SI).
9. Dentre as referências utilizadas e sugeridas, destacamos [2–7].

## Força

10. Assumimos que o leitor esteja familiarizado com as seguintes fórmulas para a força em um sistema físico.

11.

$$F = ma$$

12.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

## Unidades da Força

13. Um Newton é definido como a força necessária para acelerar um quilograma de massa a uma taxa de um metro por segundo ao quadrado.

14. Assim,

$$[F] = \text{N} = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

15. Isole  $G$  em (12) e escreva a fórmula de  $[G]$  em função apenas de quilograma (kg), metro (m) e segundo (s).

# Três Constantes Fundamentais

16. Em 1899, Planck unificou três importantes constantes da física, a saber, a constante gravitacional ( $G$ ), a velocidade da luz no vácuo ( $c$ ) e a constante de Planck ( $h$ ).
17. Este resultado é muito importante por duas razões: (i) primeiro, porque essas constantes representam três teorias físicas que operam em escalas distintas; (ii) e porque, como veremos, só existe uma combinação entre elas que resulta nas unidades de comprimento, tempo, massa e energia.
18. A constante de Planck ( $h$ ) atua no mundo microscópico, isto é, em escalas menores do que uma molécula.
19. A constante gravitacional ( $G$ ) opera nas escalas maiores do que uma molécula, mas com velocidades baixas, quando comparadas com a velocidade da luz.
20. A constante  $c$  está presente em sistemas relativísticos, cujas velocidades podem se aproximar da velocidade da luz.
21. Por razões técnicas,  $\hbar$  é denominada constante de Planck reduzida e vale

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

22. Note que ambas as constantes de Planck têm a mesma dimensão,

$$[\hbar] = [h].$$

23. A partir de agora, quando falarmos em constante de Planck, estamos nos referindo à constante de Planck reduzida.

## Unidades de $G$ , $c$ , $\hbar$

24.

$$[G] = \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$$

25.

$$[c] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

26.

$$[\hbar] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$$

27. A partir de agora, vamos omitir os colchetes para facilitar a notação, isto é, considere  $[G] = G$ ,  $[c] = c$  e  $[\hbar] = \hbar$ .

## Comprimento de Planck

28. Vamos escrever a dimensão ‘metro’ (m) como uma combinação dessas três grandezas ( $G, c, \hbar$ ).

29. A partir de (24) e (25), mostre que

$$\frac{G}{c} = \frac{\text{m}^2}{\text{kg} \cdot \text{s}}.$$

30. Utilizando (25) e (26), encontre a relação

$$\frac{\hbar}{c^2} = \text{kg} \cdot \text{s}.$$

31. Substitua o termo  $\text{kg} \cdot \text{s}$  de (30) em (29) para chegar em

$$\text{m}^2 = \frac{\hbar G}{c^3}.$$

32. A partir de (31) e da informação em (17.ii), escreva a fórmula para o comprimento de Planck ( $\ell_p$ ).

33. Qual o significado físico de  $\ell_p$ ?

## Tempo de Planck

34. Vamos escrever a dimensão ‘segundo’ (s) como uma combinação das três grandezas fundamentais ( $G, c, \hbar$ ).

35. Calcule  $[c]$ .

36. Utilizando (31), o resultado de (35) e a informação em (17.ii), obtenha a fórmula para o tempo de Planck ( $t_p$ ).

37. Qual o significado de  $t_p$ ?

## Massa de Planck

38. Vamos escrever a dimensão ‘quilograma’ (kg) como uma combinação de  $G, c, \hbar$ .

39. Demonstre que

$$\text{kg} = \frac{\hbar}{c} \frac{1}{m}.$$

40. A partir dos resultados (31) e (39), encontre a relação

$$\text{kg} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}}.$$

41. A partir de (40) e da informação em (17.ii), escreva a fórmula para a massa de Planck ( $M_p$ ).

42. Qual o significado de  $M_p$ ?

## Energia de Planck

43. Albert Einstein descobriu a fórmula  $E = mc^2$  em 1905, como parte de sua teoria da relatividade especial.

44. Utilizando (43) e a massa de Planck ( $M_p$ ), escreva a fórmula da energia de Planck ( $E_p$ ).

## Mais algumas grandezas

45. Calcule a velocidade de Planck ( $v_p$ ) em termos de  $G, c, \hbar$ .

46. Obtenha a frequência de Planck ( $\nu_p$ ) em termos de  $G, c, \hbar$ .

47. É correto afirmar que a constante de Planck ( $\hbar$ ) tem dimensão de energia vezes tempo?

# Constante de Planck

48. Escreva as unidades de  $\hbar$  em termos de unidades de massa (kg), velocidade ( $[v] = v$ ) e comprimento (m)?
49. Agora escreva as unidades de  $\hbar$  em termos de unidades de massa (kg), aceleração ( $[a] = a$ ), comprimento (m) e tempo (s)?

## Resumo

50.

$$\ell_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}}$$

51.

$$t_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}}$$

52.

$$M_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}}$$

## Convite Aberto

*Revise, adicione conteúdo e seja coautor(a) deste white paper [8, 9].  
Junte-se à Colaboração Quântica Aberta.*

## Arquivos Suplementares

[10]

## Como citar este white paper

<https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.12174358>

# Agradecimentos

+ Zenodo

<https://zenodo.org>

## Consentimento

Os autores concordam com [9].

## Como citar este artigo?

<https://zenodo.org/record/12174358>

## Licença

*CC-By Attribution 4.0 International* [11]

## Referências

- [1] Santos, Caio M., et al. “Uma proposta didático-matemática para o uso da escala de planck: dos fótons aos buracos negros”. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 42, 2020.  
<https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2019-0350>
- [2] Adler, Ronald J. “Six easy roads to the Planck scale.” *American Journal of Physics* 78.9 (2010): 925-932. <https://arxiv.org/abs/1001.1205>
- [3] Faraoni, Valerio. “Three new roads to the Planck scale.” *American Journal of Physics* 85.11 (2017): 865-869.
- [4] Lobo, Matheus P. “Roads to the Planck Scale.” *OSF Preprints*, 11 Aug. 2020. <https://doi.org/10.31219/osf.io/2cdwb>
- [5] Susskind, Leonard, and Art Friedman. *Quantum mechanics: The theoretical minimum*. Basic Books, 2014.

- [6] Hrabovsky, George, and Leonard Susskind. *Classical mechanics: the theoretical minimum*. Penguin UK, 2020.
- [7] Susskind, Leonard, and Art Friedman. *Quantum mechanics: The theoretical minimum*. Basic Books, 2014.
- [8] Lobo, Matheus P. “Microarticles.” *OSF Preprints*, 28 Oct. 2019.  
<https://doi.org/10.31219/osf.io/ejrct>
- [9] Lobo, Matheus P. “Simple Guidelines for Authors: Open Journal of Mathematics and Physics.” *OSF Preprints*, 15 Nov. 2019.  
<https://doi.org/10.31219/osf.io/fk836>
- [10] <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.12174358>
- [11] CC. Creative Commons. *CC-By Attribution 4.0 International*.  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

## Colaboração Quântica Aberta

**Matheus Pereira Lobo**<sup>1</sup> (matheusplobo@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-4554-1372>

**Ayla Pinheiro dos Reis de Souza**<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Norte do Tocantins (Brasil)

<sup>2</sup>Centro de Ensino Vera Lúcia dos Santos Carvalho (MA, Brasil)

<sup>3</sup>Unidade Integrada São Raimundo Nonato (MA, Brasil)