

# AULAS VIRTUAIS



[CLIQUE AQUI E VISITE A PÁGINA DO PROJETO ENEM 100%](#)

10/11 – 16h / TERÇA-FEIRA

**FÍSICA**

**PROFESSOR LÚCIO VEGA**





## FÍSICA

Professor Lúcio Vega

---

# Termologia

Qual fenômeno macroscópico ocorre sem que envolva calor? Nenhum. Isso é um reflexo de uma das leis da própria termologia: a segunda lei da termodinâmica. Sendo assim, compreender esse conteúdo é uma condição básica para dominar grande parte da Física e diversos aspectos de outras disciplinas. Para o nosso projeto, podemos incluir como motivação a presença de 10% a 15% de questões essencialmente de termologia nas aplicações do ENEM.

Nessa apostila, você encontrará os fundamentos da termologia e as relações quantitativas que surgem deles. A aula apresentará esses fundamentos, concedendo protagonismo aos seus significados em detrimento das aplicações de suas relações matemáticas. Estas aparecerão como pano de fundo, fortalecendo a teoria.

Nosso ponto de partida será a teoria atômica cinética, aquela que defende um constante e irregular movimento dos átomos e moléculas. Todos os demais fenômenos térmicos serão vistos como desdobramento dessa teoria.

## Sumário

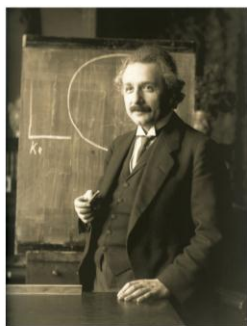
1. A Teoria Atômica Cinética
2. Dilatação Térmica e Termometria
3. Calor e sua Transmissão
4. Calor Sensível – Mudança de Temperatura
5. Calor Latente – Mudanças de Estado Física
6. Questões do ENEM sobre o conteúdo dessa apostila

## 1. Teoria Atômica Cinética

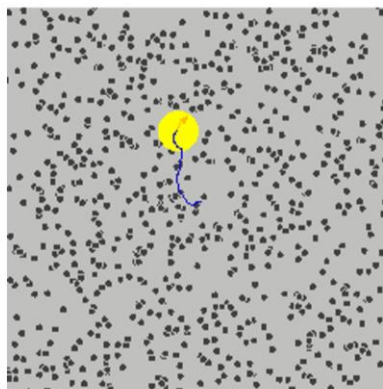
Em 1827, o botânico Robert Brown observou que minúsculos grãos de pólen, quando misturados em água, ganham um movimento irregular e constante que só era observável por meio de microscópio. Esse movimento foi chamado de movimento **browniano**.

No século XIX, muitos cientistas defensores da teoria atômica acreditavam que os átomos (invisíveis mesmo com o microscópio) eram responsáveis pelo movimento browniano. Entretanto, durante o século em questão, ninguém conseguiu uma evidência forte o suficiente para validar tal hipótese.

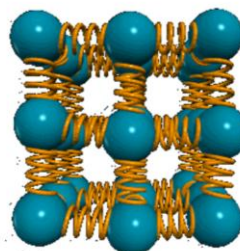
**Albert Einstein**, em 1905, mesmo ano que ele apresentou a teoria da relatividade restrita, apresentou um modelo físico-matemático que se adequou perfeitamente aos registros experimentais sobre o movimento browniano. Sua teoria considerou que os átomos estão em constante movimento aleatório, o que seria chamado de **agitação térmica**.



Albert Einstein, em 1905.



Se os átomos estão em movimento, por que eles se mantêm juntos nos estados sólido e líquido? Porque os átomos devem se atrair. Essas atrações, em algumas situações, estabelecem aglomerados bem definidos, os quais chamamos de moléculas. Estas também se atraem. A natureza das **ligações interatômicas** e **intermoleculares** só foi compreendida no século XX, entrelaçando a Eletricidade à Física Quântica. No Ensino Médio, a Química é a grande responsável por apresentar as regras dessas ligações, mas podemos pensar que existem “molas invisíveis” sustentando as amostras nos estados sólido e líquido, bem como as moléculas.



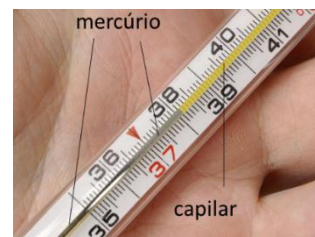
## 2. Dilatação Térmicas e Termometria

De acordo com a teoria atômica cinética, se os átomos ficarem mais agitados, eles se afastarão uns dos outros, provocando um aumento de tamanho do corpo, uma dilatação. O aquecimento é o responsável pela dilatação dos corpos, logo ele provoca, microscopicamente, o aumentando a intensidade do movimento dos átomos. Por consequência, o esfriamos produz uma contração dos corpos, logo diminui a intensidade do movimento dos átomos.



Graças a esses fenômenos, foi possível criar termômetros e definir **temperatura**. Inicialmente, tal grandeza conseguia determinar, antes de tocar um corpo, se a pessoa sentiria **calor** ou **frio** - **sensações térmicas**. Com a validação da teoria atômica cinética, a temperatura passou a identificar o nível de movimento irregular dos átomos – o nível de **agitação térmica**.

O termômetro padrão possui mercúrio em um recipiente de vidro. Como o líquido dilata mais que o sólido, o aquecimento do termômetro faz o mercúrio crescer mais do que o espaço que o comporta, fazendo-o ocupar uma faixa cada vez maior do fino tubo que ainda não preencheu, o **capilar**. Se associarmos valores crescente para cada posição da coluna de mercúrio, criaremos uma **escala termométrica**.



A escala termométrica mais usada é a **Celsius**, a qual adota o valor 0 °C para o nível de agitação térmica que a água congela (**ponto de fusão** da água) e o valor 100 °C para o nível de agitação que a água começa a ferver (**ponto de ebulição** da água).

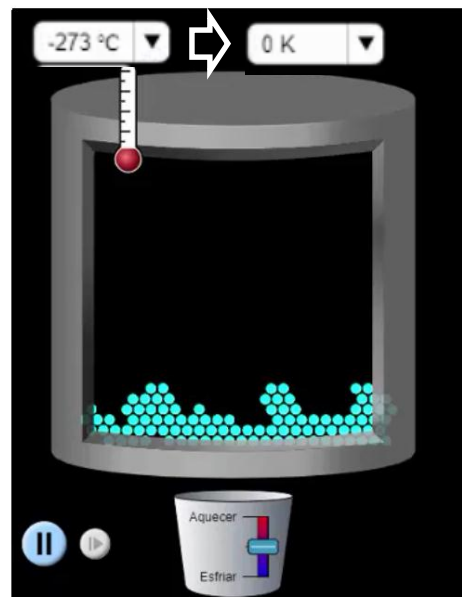
Para você ter uma noção da diferença do teor de dilatação do mercúrio em relação ao vidro, o **coeficiente de dilatação volumétrico**  $\gamma$  do mercúrio é  $\gamma_{\text{Hg}} = 0,0041\%/^{\circ}\text{C}$  e o do vidro é  $\gamma_{\text{vidro}} = 0,0009\%/^{\circ}\text{C}$ . Para o mercúrio, esse coeficiente significa que um volume de mercúrio cresce 0,0041% a cada aumento de 1°C. A partir desses valores, podemos concluir que a dilatação térmica é um fenômeno sutil e que o mercúrio dilata um pouco mais que 4 vezes a dilatação do vidro.

Momento quantitativo		
$\gamma_{\text{Hg}} = \frac{0,0041\%}{^{\circ}\text{C}} \Rightarrow \gamma = \frac{\Delta V / V_0}{\Delta T} \Rightarrow \boxed{\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T}$		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none; padding-right: 10px;">           Se produzirmos um aumento de temperatura de 100°C a uma amostra de 20 litros de mercúrio, quanto ela vai dilatar?         </td> <td style="border: none; vertical-align: middle;">           }           <math display="block">\begin{aligned} \Delta V &amp;= 0,000041 \times 20 \times 100 \\ \Delta V &amp;= 0,082 \text{ litros} \end{aligned}</math> </td> </tr> </table>	Se produzirmos um aumento de temperatura de 100°C a uma amostra de 20 litros de mercúrio, quanto ela vai dilatar?	} $\begin{aligned} \Delta V &= 0,000041 \times 20 \times 100 \\ \Delta V &= 0,082 \text{ litros} \end{aligned}$
Se produzirmos um aumento de temperatura de 100°C a uma amostra de 20 litros de mercúrio, quanto ela vai dilatar?	} $\begin{aligned} \Delta V &= 0,000041 \times 20 \times 100 \\ \Delta V &= 0,082 \text{ litros} \end{aligned}$	



Se a temperatura está vinculada à agitação térmica, quando não existir mais o movimento atômico aleatório, a temperatura não poderá ser reduzida. Na escala Celsius, isso acontece em  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Baseado nisso, no século XIX, um grupo de cientistas, encabeçado por Lord Kelvin, criou uma escala termométrica que adotava o valor zero em  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  e, a partir daí, crescia o quanto a escala Celsius crescia. Isso significa que a temperatura de  $1\text{ K}$  equivale a  $-272\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $2\text{ K}$  equivale a  $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$  etc. A **escala Kelvin** não possui valores negativos (**escala absoluta**) e uma indicação de temperatura nela  $T_K$  subtraída de  $273$  corresponderá à indicação na escala Celsius  $T_C$  da mesma temperatura:

$$T_C = T_K - 273$$



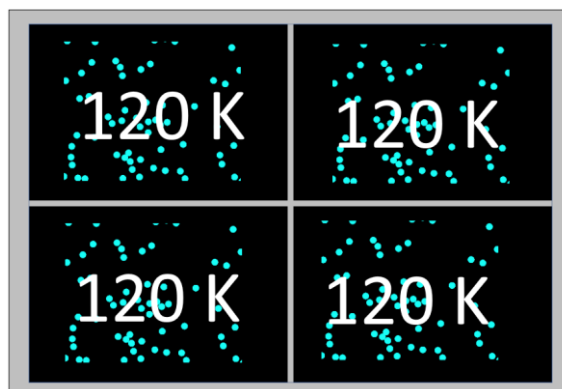
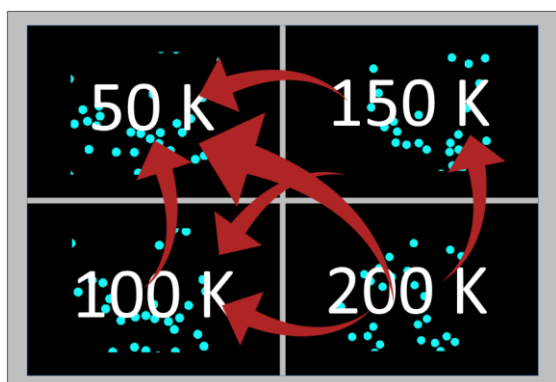
### 3. Calor e Sua Transmissão

Se cada átomo possui massa e velocidade, possui energia cinética. A soma de todas as energias cinéticas dos átomos em seu movimento aleatório (agitação térmica) é a energia associada à temperatura, é a **energia térmica**. Essa energia obedece a duas leis universais:

**Primeira lei da termodinâmica:** “O total de energia de um sistema isolado não é alterado, apesar de quantidades parciais de energia possam se transformar de um tipo em outro ou transitar entre regiões desse sistema.”

**Segunda lei da termodinâmica:** “Todo sistema tende a distribuir sua energia uniformemente por todas as regiões do sistema.”

A 1ª lei nos convida a adotarmos a energia como protagonista em qualquer processo térmico, visto que é cômodo usar como referência uma quantidade que não vai mudar, independente do que ocorra. A 2ª lei oferece um motivo para a energia se transformar e/ou transitar. Sob seu comando, a energia térmica tende a transitar dos lugares mais quentes (temperaturas maiores) para os lugares mais frios. O final desse processo é atingir a mesma temperatura, o que corresponde às moléculas de lugares diferentes atingirem o mesmo nível energético - **equilíbrio térmico**.



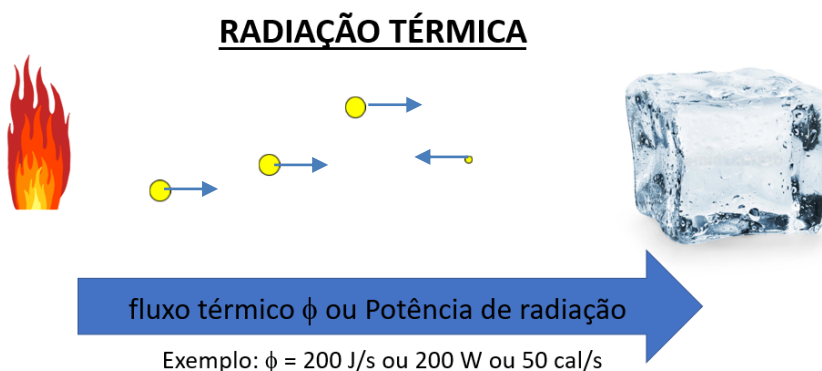
**Calor** é a quantidade de energia térmica em trânsito. Portanto, cada setinha vermelha que foi apresentada na imagem anterior era uma **quantidade de calor (Q)**. Vale ressaltar que a unidade de calor do sistema internacional (SI) é **joule**. Entretanto, em termologia é muito usada a **caloria (cal)** que equivale a aproximadamente 4 J. O calor transita de três formas:

**Condução** – É o processo de transmissão de calor por meio de colisões entre os átomos vizinhos, sem deslocamento de matéria de um lugar para outro. Baseado nesse fenômeno, os materiais são classificados em condutores ou isolantes. Para isso, usa-se a **condutividade térmica (k)**. O ferro é um condutor térmico porque possui uma alta condutividade térmica:  $k_{Fe} = 0,8 \text{ W.cm}/(\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . Isso significa que uma placa de ferro de 1 cm de espessura deixa passar 0,8 W (0,8 J/s) de calor por cada 1  $\text{cm}^2$  de uma face a outra quando a diferença das temperaturas delas for 1  $^\circ\text{C}$ . Já a lã é um isolante porque possui uma baixa condutividade térmica:  $k_{Lã} = 0,0004 \text{ W.cm}/(\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .



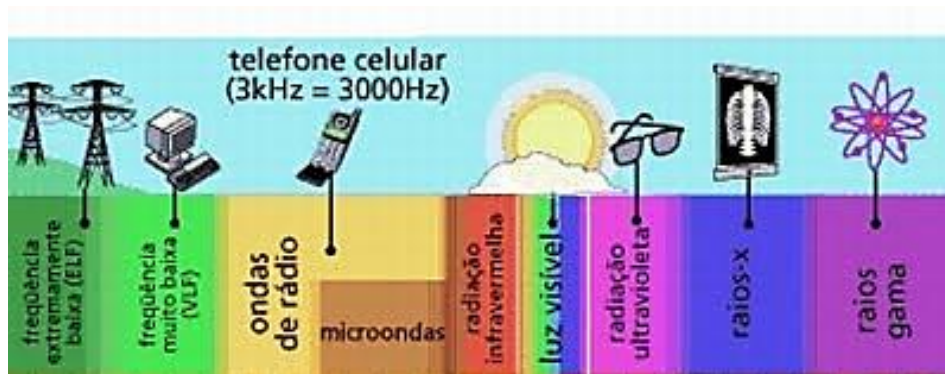
Momento quantitativo	
$k_{Lã} = 0,0004 \text{ W.cm}/(\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \Rightarrow k = \frac{\phi \cdot L}{A \cdot \Delta T} \Rightarrow \boxed{\phi = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L}}$	
Qual o fluxo de calor por meio de um cobertor de 2 $\text{m}^2$ (20.000 $\text{cm}^2$ ) de área e 2 cm de espessura que localiza-se entre o corpo de uma pessoa (36 $^\circ\text{C}$ ) e um ambiente de 6 $^\circ\text{C}$ ?	$\phi = \frac{0,0004 \times 20.000 \times 30}{2}$ $\phi = 120 \text{ W} = 120 \text{ J/s}$

**Radiação Térmica** – Quando dois átomos colidem, parte de suas energias de movimento irregular (porção da energia térmica do corpo) é usada para produzir um fóton. Este se movimenta com velocidade da luz até ser absorvido por outro átomo que aumenta sua energia de movimento irregular. Portanto, fótons transmite calor. Esse fenômeno é chamado de **radiação térmica**.

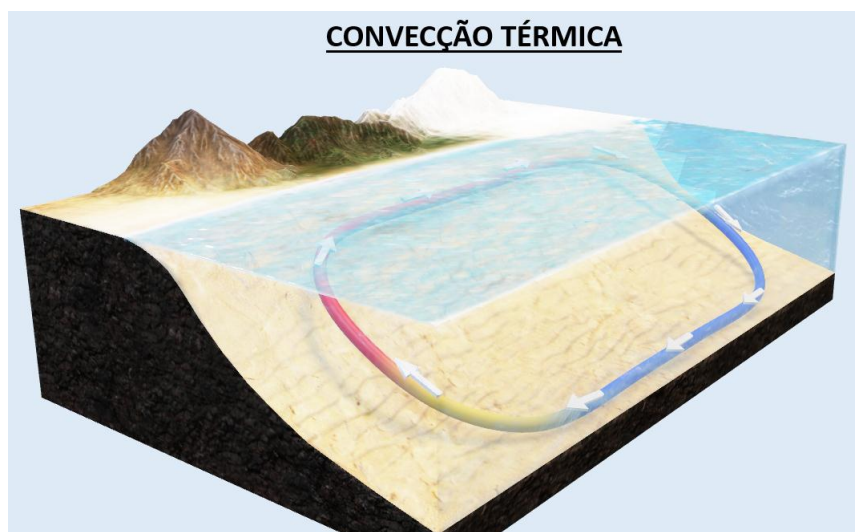


Como os fótons são mais rápidos que os átomos, a radiação térmica acelera o objetivo da 2ª lei, distribuindo energia térmica com rapidez para lugares mais distantes. Além disso, átomos com maior nível de agitação térmica (região de maior temperatura) produzem fótons com mais energia que átomos em regiões de baixa temperatura. Isso garante que o fluxo térmico resultante oriundo da radiação térmica será do corpo mais quente para o mais frio. Podemos também enxergar os fótons como pacotes de energia de **ondas eletromagnéticas**.

A luz é uma radiação térmica de alta energia. A agitação térmica de nossos átomos produz fótons com uma quantidade de energia bem menor que a dos fótons de luz (radiação infravermelha). Já os átomos localizados no fogo conseguem produzir fótons com energia suficiente para os nossos olhos se sensibilizarem (fótons de luz). A tabela abaixo mostra ondas eletromagnéticas conhecidas por outros nomes organizadas em ordem crescente da energia dos seus fótons.



**Convecção** – Uma outra maneira do calor se movimentar surge em algum fluido (líquido e gas) que tenha regiões com temperaturas diferentes. A porção quente dilata e fica menos densa, mais leve; enquanto a porção fria contrai, fica mais densa e mais pesada. Quando a porção mais densa fica acima da menos densa, a gravidade força uma troca de posição, o que é chamado de **convecção**. Veja que a matéria quente subindo, vai para o lugar da matéria fria, trazendo a perspectiva de esquentar essa região. Já a matéria fria, ao descer, tentará esfriar a região que está quente. Podemos dizer que esse fenômeno também está a serviço da 2ª lei da termodinâmica.



#### 4. Calor sensível – Mudança de Temperatura

Quanto é a quantidade de calor que precisa ser entregue quando aquecemos 1 °C um quilograma de certa substância? Em linhas gerais, quanto mais moléculas (ou átomos para substâncias monoatômicas) existam em 1 kg, mais calor é necessário, já que cada molécula, independente de sua massa, vai requisitar a mesma quantidade de energia térmica para que a amostra aumente 1 °C. O átomo de chumbo, por exemplo, possui cerca de 29 vezes mais massa que o de lítio, logo, terá cerca de 29 vezes menos átomos em 1 kg, requisitando cerca de 29 vezes menos energia para que esse 1 kg aumente 1 °C. Esse cálculo não é exato porque existem outros fatores que não foram considerados, mas entendemos, com isso, que cada substância possui sua identidade para a energia térmica, o que é chamada de **calor específico (c)**.

O chumbo possui um calor específico de 130 J para cada 1 kg para cada 1°C. Sendo assim, uma amostra de chumbo de 2 kg precisará de 260 J para cada 1°C e uma amostra de 10 kg precisará de 1300 J para cada 2°C. Essas duas razões são específicas para essas massas dessa substância, o que é chamada de **capacidade térmica (C)**. Uma amostra que tenha maior capacidade térmica, tem mais dificuldade de alterar a sua temperatura.

2 kg de Pb  
C = 260 J/°C

10 kg de Pb  
C = 1300 J/°C

$Q = C \cdot \Delta T$

$C = m \cdot c$

$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$

Tendo a capacidade térmica de uma amostra, basta multiplicá-la pela variação (mudança) de temperatura para encontrar quanto calor ela recebeu (variação de temperatura positiva) ou perdeu (variação de temperatura negativa). Observe essas relações na imagem acima. Quando o calor se transforma diretamente na energia térmica da amostra ou é produzido a partir dela é chamado de **calor sensível**.

<p style="text-align: center; border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">Momento quantitativo</p>	$\Delta T = 90 - 10 = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$ $C = m \cdot c = 5 \times 130 = 650 \text{ J/}^\circ\text{C}$ $Q = C \cdot \Delta T = 650 \times 80 = 52.000 \text{ J}$ <p style="text-align: center;">ou</p> $Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 5 \times 130 \times 80 = 52.000 \text{ J}$
---	--



## 5. Calor Latente – Mudanças de Estados Físicos

O que acontece com a água em uma panela quando ela chega a 100 °C e continua recebendo calor? A água não aumenta mais a temperatura, logo o calor que está sendo absorvido não está se transformando em energia térmica. Na verdade, ele está sendo usado para desfazer as ligações interatômicas do estado líquido, transformando-o em estado gasoso (processo de **vaporização**). Dizemos que o calor que muda o estado físico e não altera a temperatura é **calor latente (L)**. Quando a amostra muda de sólido para líquido ( **fusão**), as ligações interatômicas não são desfeitas, mas são enfraquecidas e as moléculas deixam de se organizar numa **estrutura cristalina** e passam a se movimentar uma próxima da outra. Na imagem abaixo, existe uma tabela com as razões associadas aos calores latentes das mudanças de estado de três substâncias. Observe que a quantidade de calor para essas transformações são proporcionais à quantidade de massa transformada.



Substância	Ponto de Fusão (°C)	Calor latente de fusão (cal/g)	Ponto de Ebulição (°C)	Calor latente de vaporização (cal/g)
Água	0	79,3	100	538,1
Álcool	-114	24,8	78	203,3
Alumínio	660	94,5	2450	2714,3

### Momento quantitativo

Estando a 78°C (ponto de ebulição), quanto calor é necessário para 20 g de álcool líquido mudar para o estado gasoso?

$$L_{\text{vaporização do álcool}} = 203,3 \text{ cal/g}$$

$$m = 20 \text{ g}$$

$$Q = m \cdot L = 20 \times 203,3 = 4.066 \text{ cal}$$

Vale ressaltar que existem três formas de vaporização. A primeira é a **ebulição**. Ela ocorre quando a amostra atinge um nível de agitação térmica específico (ponto ou temperatura de ebulição) que habilita as moléculas junto à fonte de calor vaporizar dentro do líquido, criando bolhas de vapor. A **evaporação** ocorre com as moléculas com agitação acima da média que estão na superfície do líquido. Quanto mais próximo do ponto de ebulição, mais moléculas muito agitadas existirão por todo o líquido, inclusive na superfície, logo maior será o teor de evaporação. A **calefação** ocorre quando o líquido toca em uma fonte de calor com temperatura muito acima do ponto de ebulição, provocando uma vaporização intensa ao ponto de criar uma camada de vapor entre a fonte e o líquido.



## 6. Questões do ENEM sobre o conteúdo dessa apostila

Para elaborar esse material e sua respectiva aula, foram usadas 21 das 201 questões de Física das 14 últimas aplicações regulares do ENEM, ou seja, 10,4% do total. Todas essas questões foram listadas mais abaixo. Você pode ter acesso a essas provas e seus gabaritos na página do INEP cujo link é:

<http://portal.inep.gov.br/provas-e-gabaritos>

ENEM 2019 – caderno 5 – amarelo – aplicação regular: questões 122 e 124

ENEM 2018 – caderno 5 – amarelo – 1ª aplicação: nenhuma questão

ENEM 2018 – caderno 17 – amarelo – 2ª aplicação: questões 92 e 128

ENEM 2017 – caderno 5 – amarelo – 1ª aplicação: questão 134

ENEM 2017 – caderno 5 – amarelo – 2ª aplicação: questões 127 e 132

ENEM 2016 – caderno 2 – amarelo – 1ª aplicação: questões 74 e 76

ENEM 2016 – caderno 2 – amarelo – 2ª aplicação: questões 64, 65 e 69

ENEM 2016 – caderno 9 – branco – 3ª aplicação: questão 87

ENEM 2015 – caderno 1 – azul – 1ª aplicação: questão 65

ENEM 2015 – caderno 9 – branco – 2ª aplicação: questão 76

ENEM 2014 – caderno 1 – azul – 1ª aplicação: questões 66 e 76

ENEM 2014 – caderno 3 – branco – 2ª aplicação: nenhuma questão

ENEM 2013 – caderno 2 – amarelo – 1ª aplicação: questões 60 e 76

ENEM 2013 – caderno 3 – branco – 2ª aplicação: questões 69 e 84

Clique nos ícones ao lado para acessar as redes sociais do **Professor Lúcio Vega**



Instagram



YouTube

Clique nos botões para acessar os **objetos educacionais** do **Projeto ENEM 100%**.

PROJETO  
ENEM 100%  
PÁGINA DO  
ESTUDANTE

TRILHAS  
PARA O  
ENEM

AULAS  
VIRTUAIS  
ENEM 100%

APOSTILAS  
DAS AULAS  
VIRTUAIS ENEM  
100%