

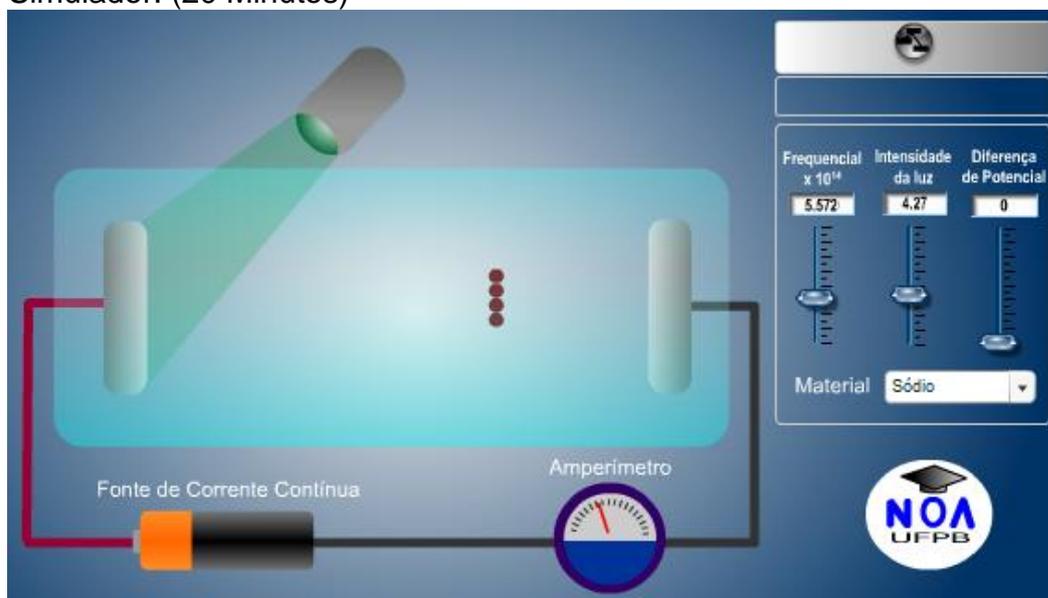
Escola Publica EE Caramuru
Publico - 3° ano do ensino médio
Tema – Física moderna (efeito fotoelétrico).
Quantidade de aulas – 3

Aula 1– Atividade diagnostica e simulador
Atividade diagnostica. (10 minuto)

Perguntas:

- 1) Qual a diferença de uma câmera fotografia digital para analógica?
- 2) Albert Einstein tem alguma relação com as câmeras fotográficas digitais?
- 3) Como é registrada a imagem em uma câmera analógica?

Simulador: (20 Minutos)



Roteiro da atividade:

A animação simula um experimento que demonstra o efeito fotoelétrico. No desenho, temos um capacitor no vácuo ligado a uma bateria e um amperímetro para medir se algum elétron pulou da placa da esquerda para a da direita. Acima, uma fonte de luz inicialmente desligada e do lado direito, três barras que você pode controlar: A frequência da luz, a intensidade da luz e a diferença de potencial da bateria.

Mova primeiro a barra da diferença de potencial (ddp). Como o meio entre as placas é o vácuo nenhuma corrente será registrada. Agora deixe a ddp em 1 (não precisa ser exato) e mova a barra da intensidade da luz. Como a frequência inicial é de 4×10^{14} Hz, que corresponde à cor vermelha, você verá surgir um feixe vermelho que vai ficando cada vez mais intenso. Deixe a intensidade da luz em 5 ou próximo disso.

Mas ainda não há nenhuma corrente elétrica, pois os fótons da luz vermelha

ainda não têm energia suficiente para arrancar os elétrons da placa de sódio. Você pode aumentar a intensidade ao máximo que nenhuma corrente será registrada no amperímetro.

Agora aumente a frequência lentamente até chegar a 5×10^{14} Hz. Você deverá notar que a luz ficou amarela, mas ainda não aconteceu nada. Então continue aumentando a frequência que um efeito interessante irá surgir: com a frequência da luz em torno de $5,5 \times 10^{14}$ Hz, os elétrons da placa da esquerda saltam da superfície, mas acabam voltando devido à ddp. Neste ponto, se você diminuir a ddp ou aumentar a frequência da luz, os elétrons conseguirão chegar à placa da direita, fazendo com que o amperímetro registre uma corrente. A frequência da luz em que os elétrons começam a saltar da primeira placa para a da direita e o amperímetro passa a registrar uma corrente é chamada de frequência de corte. É uma constante que só depende do metal que está sendo iluminado.

Com estas informações, você é capaz de entender este fenômeno físico ?

Atividade proposta no site <http://www.dfte.ufrn.br/caio/experimento.html>

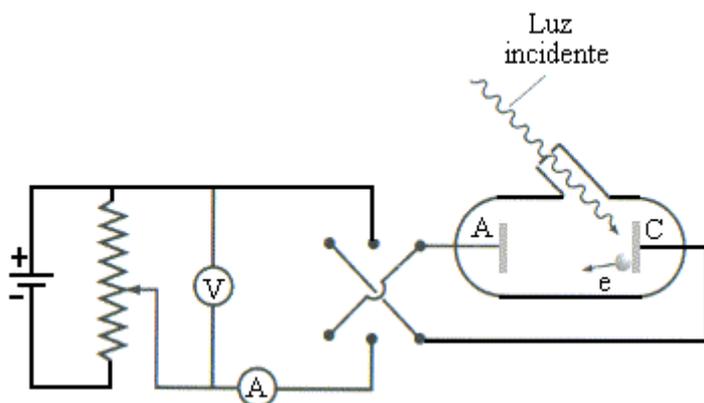
Explicação: (20 minutos)

O efeito Fotoelétrico

O fenômeno do efeito fotoelétrico consiste na liberação de elétrons pela superfície de um metal, após a absorção de energia proveniente da radiação eletromagnética incidente sobre ele, de tal modo que a energia total da radiação é parcialmente transformada em energia cinética dos elétrons expelidos. Esse fenômeno foi observado pela primeira vez por Hertz, em 1887, e extensivamente estudado por Lenard, em 1902 e por Millikan, de 1906 a 1916.

A constatação de que as partículas emitidas eram elétrons se deu em 1899, quando Thomson, ao expor à radiação ultravioleta um superfície metálica no interior de um tubo de Crookes, estabeleceu que essas partículas eram de mesma natureza daquelas que constituíam os raios catódicos.

Nos experimentos realizados, um fotocátodo é iluminado por um feixe de luz monocromática, liberando elétrons, e a corrente I resultante é, em seguida, anulada ajustando-se um potencial retardador até um valor de corte V .



Os principais resultados das observações de Lenard podem ser resumidos como:

- A ocorrência de emissão de elétrons não depende da intensidade da luz incidente;
- Havendo a emissão, a corrente é proporcional à intensidade da luz;
- A ocorrência de emissão depende da frequência da luz;

- Para cada metal há um limiar de frequência, abaixo do qual não há a emissão;
- A energia cinética dos elétrons e o potencial de corte crescem com a frequência da luz.

Os resultados de Lenard foram explicados por Einstein, em 1905, admitindo que a luz de frequência f , em sua interação com a matéria, fosse constituída por quanta de luz de energia $E=hf$. De acordo com Einstein, ao penetrar na superfície do metal, cada fóton interage com um elétron, transmitindo-lhe toda a sua energia. Entretanto, para um elétron abandonar a superfície do metal, é necessário que ele adquira certa quantidade de energia ϕ , denominada função trabalho. Admitindo que é pouco provável a absorção de dois ou mais fótons por um elétron, os elétrons só conseguem abandonar o metal se $hf > \phi$. Portanto, aqueles que escapam emergem com energia cinética máxima E_c , dada por

$$E_c = hf - \phi$$

A equação anterior é compatível com o fato de que, ao se aumentar a intensidade da luz, aumentando-se o número de fótons incidentes, aumentando-se também o número de elétrons emitidos e, portanto, a corrente, mas não a energia cinética máxima que cada elétron pode adquirir.

Desse modo, o potencial de corte V , necessário para deter o fluxo de elétrons, é determinado pela condição de que a energia potencial eV deva ser igual à energia cinética máxima dos elétrons ejetados, ou seja, $eV = hf - \phi$

Após a determinação da carga do elétron, Millikan, apesar de não acreditar na ideia de fóton de luz, estabeleceu, de forma definitiva, a expressão linear proposta por Einstein e a utilizou para determinar de maneira precisa e acurada uma outra constante universal: a constante de Planck. Depois de uma sucessão de medidas, em 1914, o valor experimental estabelecido por Millikan foi $h = 6,57 \times 10^{-34}$ J.s com erro relativo menor do que 0,5%

Aula 2 – Continuação da explicação e texto adaptado
Continuação da explicação (10 minutos)

Texto Adaptado “ALBERT EINSTEIN E A FÍSICA QUÂNTICA ”

objetivo - Mostrar a relação do trabalho de Plank com os trabalho de Einsteine a importância que teve o estudo do efeito fotoeletrico. (40 minutos)

A Física ao final do século XIX

Por volta de 1890, a Física vivia uma situação um tanto paradoxal. Por um lado, as hoje denominadas *teorias clássicas da Física* estavam perfeitamente estabelecidas, gozavam de inteira confiança. A Mecânica, a Termodinâmica e o Eletromagnetismo constituíam um formidável arcabouço teórico ao qual nada mais parecia necessário, nem mesmo possível, acrescentar. Aos físicos restava, agora, medir com maior precisão os valores das constantes físicas fundamentais e trabalhar na implementação de aplicações para tantos conhecimentos acumulados. Mas, por outro lado, havia também certo desconforto, talvez mesmo certa perplexidade, pois algumas dificuldades, cuja superação era de início considerada como mera questão de tempo, iam cada vez mais assumindo o aspecto de imensos desafios. O primeiro grande desafio era uma inconsistência teórica entre o Eletromagnetismo e a Mecânica. Por

ora, digamos apenas que aquele não atendia a certos requisitos exigidos por esta. O segundo grande desafio era representado por uma série de fenômenos rebeldes que, teimosamente, não admitiam explicação no contexto de nenhuma das teorias vigentes então. Três desses fenômenos merecem destaque desde já: a radiação de corpo negro, o efeito fotoelétrico e o espectro de raios dos elementos³. E havia, também, a questão da constituição íntima da matéria. Os químicos de há muito falavam em átomos e moléculas e os físicos já haviam desenvolvido a Teoria Cinética dos Gases, em cujo contexto o comportamento dos gases ideais era razoavelmente bem descrito e fisicamente interpretado sob a hipótese de que fossem constituídos por moléculas. Mas, muitos físicos não admitiam que a matéria fosse *de fato* constituída por tais corpúsculos, de modo que certo confronto de opiniões se estabelecera no ambiente científico.

A solução de Planck para a radiação de cavidade

As tentativas de explicação teórica do fenômeno supunham a existência de radiadores elementares nas paredes da cavidade, que seriam sistemas mecânicos oscilantes dotados de carga elétrica. De acordo com a Teoria Eletromagnética, tais osciladores, uma vez agitados termicamente, seriam emissores de radiação, mas poderiam também absorver radiação que porventura sobre eles incidisse. No equilíbrio térmico, emissão e absorção se igualariam. Os cálculos baseados em tal modelo teórico, no entanto, não conseguiam reproduzir os resultados experimentais, uma vez que previa a emissão de uma quantidade infinita de energia nas frequências mais altas, o que, obviamente, não correspondia aos fatos observados. Esta embaraçosa dificuldade ficou conhecida como *a catástrofe do ultravioleta*.

Em dezembro de 1900, Max Planck apresentou uma solução ao problema. Este momento marca o nascimento oficial da Física Quântica. A solução, no entanto, era ainda mais embaraçosa do que a dificuldade que viera superar. A solução proposta por Planck consistia em estabelecer uma séria limitação ao movimento dos osciladores elementares. Segundo ele, um oscilador não poderia vibrar com qualquer energia, mas apenas com algumas poucas energias permitidas, cujos valores seriam múltiplos inteiros de um valor mínimo fundamental, denominado o *quantum* de energia. Sendo f a frequência natural de um dado oscilador, seu quantum de energia valeria $E = hf$, onde h é uma constante universal, denominada *constante de Planck*. E suas energias permitidas seriam:

$$E_n = nhf$$

n representando um número natural.

Em suma, Planck postulou que a energia dos osciladores é uma variável discreta. Ou, como se passou a dizer então, a energia dos osciladores é uma grandeza *quantizada*. Refazendo os cálculos, agora submetendo os osciladores elementares a esta restrição, Planck deduziu, a partir de princípios teóricos, a mesma fórmula empírica extraída dos dados experimentais. Estava explicado o fenômeno da radiação de cavidade. Foi a primeira grande vitória sobre os desafios que os físicos enfrentavam ao final do Século XIX.

A proposta de Einstein sobre os quanta de luz

O primeiro resultado dos estudos e cogitações de Einstein foi o seu convencimento acerca da constituição atômico molecular da matéria. Partiu, então, para a busca de fatos *que garantiriam tanto quanto possível a existência de átomos de tamanho finito definido*. Desenvolveu uma teoria a respeito das forças moleculares e nela baseou sua primeira tentativa de apresentar uma dissertação de doutorado à Universidade de Zurique, já em 1901. Sua dissertação definitiva foi aceita em julho de 1905. Nela, descrevia um método para o cálculo das dimensões moleculares, mediante o qual obteve um diâmetro de $9,9 \cdot 10^{-8}$ cm para o raio de moléculas de açúcar e o valor de $2,1 \cdot 10^{23}$ para o número de Avogadro. Um de seus artigos de 1905 é uma versão ligeiramente modificada dessa dissertação. Outro é o seu famoso trabalho sobre o movimento browniano, a respeito do qual muito haveria a ser dito, não fosse outro o nosso propósito aqui. Ressalte-se, apenas, que, neste artigo, Einstein desenvolveu um cálculo teórico para o deslocamento quadrático médio de partículas microscópicas em suspensão em um líquido, cuja confirmação experimental, obtida principalmente por Jean Perrin a partir de 1908, muito contribuiu para a aceitação definitiva da realidade física das moléculas. A adesão de Einstein à concepção atômico-molecular foi de tal forma convicta, que se propôs aplicá-la à própria luz. Foi o que fez no artigo intitulado *Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz*. Nele, praticamente reinventa a Física Quântica; a ele dedicaremos nossa atenção nesta e nas próximas seções.

A Teoria Eletromagnética descrevia a propagação da luz como um fenômeno ondulatório, mas Einstein propôs, no artigo em foco, que um raio luminoso fosse considerado como uma rajada de partículas, mais tarde denominadas *fótons*. Einstein introduziu, assim, a idéia da *quantização do campo eletromagnético*, qualificando-se como precursor da moderna Teoria Quântica de Campos. Utilizando-se desta hipótese revolucionária, explicou quatro daqueles fenômenos rebeldes que não se enquadravam nas teorias clássicas, inclusive o efeito fotoelétrico, explicitamente mencionado pelo comitê do Prêmio Nobel como justificativa para conceder-lhe essa honraria em 1921. Vale a pena transcrever alguns trechos da curta introdução de Einstein a este seu artigo. Inicia dizendo:

“Há uma profunda diferença formal entre os conceitos teóricos que os físicos formaram a respeito dos gases e de outros corpos ponderáveis e a teoria de Maxwell dos processos eletromagnéticos no assim chamado espaço vazio”.

(...)De acordo com a teoria de Maxwell, a energia é considerada uma função espacial contínua para todos os fenômenos puramente eletromagnéticos, e, portanto, também para a luz, enquanto, de acordo com o ponto de vista atual dos físicos, a energia de um corpo ponderável deve ser representada como uma soma sobre os átomos e elétrons. A energia de um corpo ponderável não pode ser dividida em um número arbitrariamente grande de partes arbitrariamente pequenas, mas, de acordo com a Teoria de Maxwell, (...) a energia de um raio de luz, emitido de uma fonte puntiforme, espalha-se continuamente sobre um volume sempre crescente.

(...)De acordo com a hipótese aqui considerada, na propagação de um raio de luz emitido por uma fonte puntiforme, a energia não é continuamente

distribuída sobre volumes cada vez maiores de espaço, mas consiste em um número finito de quanta de energia, localizados em pontos do espaço, que se movem sem se dividir e que podem ser absorvidos ou gerados somente como unidades integrais.”

Este é o estilo de Einstein: simples, claro, direto, quase agressivo. Evita a discussão sobre a constituição atômico molecular da matéria, considerando-a, desde logo, como aceita majoritariamente pelos físicos. Confronta-a, sem hesitar, com a consagrada teoria eletromagnética de Maxwell. E sugere, sem cerimônias, a existência dos quanta de energia, na descrição de cujas propriedades por pouco não usa a palavra partículas. No entanto, adverte de maneira surpreendente:

“A teoria ondulatória da luz (...) provou-se sobremaneira adequada na descrição de fenômenos puramente ópticos e provavelmente nunca será substituída por outra teoria”

Mas, como poderia a luz ser, ao mesmo tempo, concebida como constituída de quanta e descrita por uma teoria ondulatória? Estava lançado o famoso paradoxo da onda-partícula.

Texto adaptado

Aula 3 – Aplicações câmeras fotográficas

Uma visão sobre o funcionamento básico de uma câmera fotográfica analógica(15 minutos)

Câmara fotográfica é o aparelho que executa a exposição do material sensível à luz, a câmara funciona com base no princípio óptico da câmara escura, conhecido desde 400 a.C. e estudado por Alhazen, Roger Bacon, Leonardo da Vinci, Girolamo Cardano, Danielo Barbiero e Ignazio Danti. A câmara escura originalmente consistia num quarto totalmente sem luz, no qual uma das paredes tinha um orifício, através do qual se projetava na parede oposta uma imagem invertida.

A primeira câmara fotográfica foi fabricada por Alphonse Giroux por encomenda de Daguerre (1839), em Paris. Consistia em duas caixas de madeira que deslizavam uma dentro da outra para focalizar; uma lente acromática, com tampa metálica capaz de funcionar como obturador; um vidro fosco para a focalização; e um suporte para as placas sensíveis. Surgiram mais tarde outros modelos mas, depois que Talbot inventou as câmaras com caixas telescópicas, não houve grandes modificações.

Descrição e funcionamento

A câmara fotográfica consta dos seguintes componentes: (1) o obturador, que permite a entrada da luz na câmara por tempo determinado; (2) a lente,

elemento que capta a imagem; (3) suportes para o material sensível; (4) um invólucro impermeável à luz que sustenta a lente e suportes para o material na posição correta; e (5) um visor para mostrar o objeto que se pretende fotografar. São acessórios o equipamento para iluminação artificial (fotolâmpadas e flash), tripé, filtros, lentes intercambiáveis, telômetros, fotômetros e outros.

Diafragma e obturador

O orifício que era atravessado pela luz nas antigas câmaras tipo “caixote” foi substituído por um diafragma ajustável, que pode variar a abertura e a quantidade de luz que o filme receberá. As diferentes aberturas são designadas pela notação f/N , em que N , na maioria das câmaras modernas, pode ser: $f/1,4$, $f/2$, $f/2,8$, $f/4$, $f/5,6$, $f/8$, $f/11$, $f/16$ e $f/22$ (o número f é obtido dividindo-se a distância focal da objetiva pelo diâmetro de seu elemento frontal).

Enquanto o diafragma controla a quantidade de luz, o obturador fixa a velocidade da exposição. As câmaras mais sofisticadas permitem várias velocidades de exposição, hoje, em geral, 1 seg, 1/2 seg, 1/4 seg, 1/8 seg, 1/15 seg, 1/30 seg, 1/60 seg, 1/125 seg, 1/250 seg, 1/500 seg e 1/1.000 seg e, em alguns modelos eletrônicos, 1/4.000 seg ou velocidades ainda maiores. O tipo mais comum de obturador (compur) é montado entre os elementos anteriores e posteriores da lente. Ao ser pressionado o disparador, vários setores circulares saltam concentricamente e voltam à posição primitiva. Posteriormente disseminou-se o tipo de obturador de cortina horizontal.

A nitidez da imagem é maior quando a lente está ajustada de acordo com a distância exata ao objeto. Como normalmente uma cena inclui objetos a diferentes distâncias da câmara, há uma perda natural de nitidez. Dentro de uma certa faixa, no entanto, a perda de nitidez é quase imperceptível. Essa faixa é a chamada profundidade de campo. Além de controlar a quantidade de luz que atinge o filme em determinado período de tempo, a abertura do diafragma determina também a profundidade de campo. Quanto menor a abertura (número f elevado), maior a profundidade de campo. Para “parar” um movimento, unem-se velocidade alta, que limita o tempo de incidência de luz, e maior abertura do diafragma. Com velocidades inferiores a 1/50 seg, a câmara deve ser apoiada num tripé, para se manter firme.

Objetivas

As câmaras simples têm uma só lente, montada no orifício que deixa a luz refletida pelo tema atingir o filme. As mais sofisticadas usam sistemas ópticos anastigmáticos que, pela justaposição de duas ou mais lentes, corrigem as aberrações ópticas. Distância focal é aquela entre o centro óptico da objetiva e o plano do filme, quando um objeto afastado está em foco. As câmaras são normalmente equipadas com lentes de distância focal quase iguais à diagonal do filme que usam. A objetiva normal de uma câmara que utilize filme 135 (24mm x 36mm), tem distância focal de 50mm. Lentes com distâncias focais inferiores à lente normal são chamadas grandes-angulares, enquanto as de

distância superior são denominadas teleobjetivas. Quanto maior a distância focal da lente, menor a profundidade de campo.

Vídeo demonstrativo de uma câmera analógica (2 minutos)

<http://www.youtube.com/watch?v=BsmAWm2rrDk>

Vídeo - Funcionamento de uma câmera digital (3 minutos)

<http://www.youtube.com/watch?v=NzwqqGunK2c>

<http://www.youtube.com/watch?v=JcmP-ySi5ZU&feature=related> (5 minutos)

<http://www.youtube.com/watch?v=NKuwb3p68QY> (10 minutos)

Prova (15 minutos)

01. **(PUC-MG)** Complete as lacunas do trecho com as palavras que, na mesma ordem, estão relacionadas nas opções a seguir.

“A luz quando atravessa uma fenda muito estreita apresenta um fenômeno chamado de _____ e isto é interpretado como resultado do comportamento _____ da luz. Porém quando a luz incide sobre uma superfície metálica, elétrons podem ser emitidos da superfície sendo este fenômeno chamado _____, que é interpretado como resultado do comportamento _____ da luz.”

Assinale a opção encontrada:

- a) difração, ondulatório, efeito fotoelétrico, corpuscular
- b) difração, corpuscular, efeito fotoelétrico, ondulatório
- c) interferência, ondulatório, efeito Compton, corpuscular
- d) efeito fotoelétrico, corpuscular, difração, ondulatório
- e) ondas, magnético, fótons, elétrico

02. **(UFRGS)** Assinale a alternativa que preenche corretamente a lacuna do parágrafo abaixo.

O ano de 1900 pode ser considerado marco inicial de uma revolução ocorrida na física do século XX. Naquele ano, Max Planck apresentou um artigo à Sociedade Alemã de Física, introduzindo a idéia da _____ da energia, da qual Einstein se valeu para, em 1905, desenvolver sua teoria sobre o efeito fotoelétrico.

- a) conservação
- b) quantização
- c) transformação
- d) conversão
- e) propagação

03. (**PUC-RS**) Um feixe de luz incide em uma lâmina de metal, provocando a emissão de alguns elétrons. A respeito desse fenômeno, denominado de efeito fotoelétrico, é correto afirmar que:

- a) qualquer que seja a frequência da luz incidente, é possível que sejam arrancados elétrons do metal.
- b) quaisquer que sejam a frequência e a intensidade da luz, os elétrons são emitidos com a mesma energia cinética.
- c) quanto maior a intensidade da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, maiores são as energias com que os elétrons abandonam o metal.
- d) quanto maior a frequência da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, maiores são as energias com que os elétrons abandonam o metal.
- e) quanto maior a frequência da luz de uma determinada intensidade incidindo sobre o metal, mais elétrons abandonam o metal.

4. (**UFRGS**) Considere as seguintes afirmações sobre o efeito fotoelétrico.

I - O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons por uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.

II - O efeito fotoelétrico pode ser explicado satisfatoriamente com a adoção de um modelo corpuscular para a luz.

III - Uma superfície metálica fotossensível somente emite fotoelétrons quando a frequência da luz incidente nessa superfície excede um certo valor mínimo, que depende do metal.

Quais são corretas?

- a) apenas I.
- b) apenas II.
- c) apenas I e II.
- d) apenas I e III.
- e) I, II e III.

Gabarito:

- 1. RESPOSTA - **A**
- 2. RESPOSTA - **B**
- 3. RESPOSTA - **D**
- 4. RESPOSTA - **E**