



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES E HUMANIDADES
CURSO DE LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CÂNCER E RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

GABRIEL ALVES REZENDE

GOIÂNIA – GO
DEZEMBRO DE 2022

CÂNCER E RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

GABRIEL ALVES REZENDE

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Pontifícia Universidade Católica de Goiás como pré-requisito necessário para a obtenção da aprovação na disciplina MAF1319, TCC II, bem como para a conclusão do curso de Licenciatura Plena em Física. Monografia realizada sob a orientação do professor Dr. Clóves Gonçalves Rodrigues.

GOIÂNIA – GO
DEZEMBRO DE 2022

Dedicatória:
“Enquanto você viver, continue aprendendo a viver”.
Sêneca

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus pela força e oportunidade de viver cada dia até o presente momento. Segundamente agradeço minha família, minha mãe, Ana Cristia Alves da Silva; pai, Eduardo Rezende e irmã Ana Isabel Alves Rezende por todo o apoio, paciência, compreensão e forças para superar este tempo turbulento. Aos meus orientadores Francisco Aparecido Pinto Osório e Clóves Gonçalves Rodrigues pela paciência e confiança durante a escrita deste trabalho. Agradeço também aos professores Edson Vaz de Andrade e Anderson Costa da Silva, vocês me mostraram o tipo de professor que eu quero ser e como encarar as adversidades da profissão e da academia.

Um agradecimento especial aos bons amigos que fiz durante esta caminhada: Eduardo Nunes Nazareth; Rafael Victo Vieira e Vinícius Brasil Soares Santos. Muitíssimo obrigado por todo apoio, risada e conversas sobre todo e qualquer tipo de assunto. O carinho de vocês me faz querer, todos os dias, melhorar um pouco mais de alguma forma. Acho que encontrei, realmente, o significado de amizade em cada um de vocês, muito obrigado.

A todos os citados nestes agradecimentos, essa conquista é todos. Sem vocês essa conquista não seria possível.

Resumo

A presente monografia visa fazer uma revisão bibliográfica de como a radiação eletromagnética pode causar o câncer. Havendo vários tipos diferentes desta doença, limitamo-nos ao que elas têm em comum. Falaremos sobre o que são radiações eletromagnéticas e seus principais tipos no Capítulo 1. Em seguida, serão abordadas algumas características fundamentais das células, tais como principais moléculas e funções e reprodução e morte celular. Por fim, no Capítulo 3 é discutido como a radiação eletromagnética pode gerar câncer, aplicando os conceitos trabalhados nos Capítulos 1 e 2. A escrita do trabalho visa abranger o máximo de leitores possíveis.

Palavras-chave: Radiação Eletromagnética; Radiação Ionizante; Reprodução Celular; Câncer; Carcinogênese.

Abstract

This monograph aims to review the literature on how electromagnetic radiation can cause cancer. Having several different types of this disease, we limit ourselves to what they have in common. We will talk about electromagnetic radiation and its main types 1. Next, the main functions will not be determinants of main cells and reproduction, such as main characteristics and reproduction. Finally, it is discussed, in chapter 3, how electromagnetic radiation can, applying the concepts worked in chapters 1 and 2. The work aims to cover as many readers as possible, in this way, the reading is easy to understand.

Keywords: Electromagnetic Radiation; Ionizing Radiation; Cellular Reproduction; Cancer; Carcinogenesis.

SUMÁRIO

Introdução	1
1. Capítulo 1 - Radiação	2
1.1 A Radiação Eletromagnética	2
1.2 Radiação Ultravioleta	4
1.3 A Descoberta Dos Raios-X	4
1.4 A Luz Visível	6
1.5 Radioatividade	9
1.6 Radiações Alfa, Beta E Gama	12
1.6.1 Radiação Alfa	12
1.6.2 Radiação Beta	13
1.6.3 Radiação Gama	13
a) Efeito Compton	14
b) Efeito Fotoelétrico..	14
c) Produção de Pares.....	15
1.7 Radiação Ionizante	16
2. Capítulo 2 – Citologia	19
2.1 O Que é a Célula..	20
2.1.1 Açúcares..	20
2.1.2 Ácidos Graxos.....	21
2.1.3 Aminoácidos.....	22
2.1.4 Nucleotídeos..	22
2.2 Codificação do DNA..	25
2.3 Reprodução Celular.....	26
3. Capítulo 3 – Interações da Radiação com o Corpo Humano..	28
Introdução..	28
3.1 Efeitos Físicos.....	29
3.2 Efeitos Químicos.....	31
3.3 Efeitos Biológicos.....	32
3.4 Efeitos Orgânicos	33
Considerações Finais.....	35
Referências..	36

Introdução

Este trabalho trata sobre como a radiação eletromagnética pode gerar o câncer, sendo esta uma anomalia genética que nasce a partir de mutações no DNA. Deste modo, são abordados os temas: Radiação Eletromagnética; Citologia e Interações do Corpo Humano com a Radiação Eletromagnética. A presente monografia tem caráter de revisão bibliográfica.

O primeiro Capítulo trata sobre as radiações eletromagnéticas com enfoque em sua definição, contexto histórico e tipos diferentes de radiação. Definido os tópicos mencionados, aborda-se sobre radiação corpuscular, ou seja, aquelas que são emitidas por corpos. E, por fim, a radiação ionizante, que pode arrancar elétrons de um átomo ou excita-lo.

Em seguida, em citologia, objeto de estudo do Capítulo 2, são abordadas algumas características simples da célula. Tais como principais moléculas e funções e reprodução celular.

No terceiro, e último capítulo, é mostrado como um corpo ao ser irradiado pode sofrer mutações em seu cromossomo, gerando diversas doenças. Neste, são abordadas consequências físicas, químicas, biológicas e orgânicas da exposição à radiação eletromagnética.

Deste modo, o objetivo deste trabalho é mostrar como um fenômeno físico, aparentemente simples e recorrente, pode gerar diversas consequências na saúde de uma pessoa. Além disso, é visado que este trabalho seja acessível ao maior público possível, podendo ser do meio acadêmico ou não. Os cálculos foram realizados com as devidas demonstrações e imagens para um melhor entendimento.

CAPÍTULO 1

RADIAÇÃO

1.1 A RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

A radiação pode ser definida como energia em trânsito, podendo ser apresentada de duas maneiras diferentes: “corpuscular” ou “ondulatória”. A primeira diz respeito a partículas, como elétrons, partículas alfa, pósitrons, que sob certas circunstâncias apresentam comportamento ondulatório, podendo ser emitidas por átomos radioativos ou serem produzidas em aceleradores de partículas. A segunda é advinda de ondas eletromagnéticas, as quais são compostas de um campo elétrico e um campo magnético que variam no tempo. No vácuo, as ondas eletromagnéticas possuem uma velocidade de aproximadamente 3×10^8 m/s (OKUNO; YOSHIMURA, 2010)

Discussões acerca da natureza da luz perduraram por vários anos. Alguns cientistas acreditavam que essa era uma onda e outros acreditavam que era composta por partículas. Dentre os que acreditavam que a luz era composta por partículas podemos destacar Isaac Newton (1643-1727). O primeiro cientista a apresentar uma teoria ondulatória convincente para a luz foi o físico holandês Christian Huygens em 1678. No entanto, devido ao grande nome de Isaac Newton que acreditava na natureza corpuscular da luz, sua concepção foi seguida pela grande maioria dos cientistas da época. A natureza ondulatória da luz só voltou a ter força por volta de 1801, com a realização de experimentos de interferência da luz por Thomas Young.

Em meados de 1905, os físicos Max Karl Ernest Ludwig Planck e Albert Einstein formularam a teoria dos quanta, que diz que a radiação eletromagnética (luz) se propaga em forma de pulsos (pacotes) de energia que são chamados de fótons. Em 1924 o físico Louis de Broglie chegou à conclusão que a luz tem comportamento dual, sendo que em certos fenômenos se comporta como partícula e em outros como onda (mas nunca os dois ao mesmo tempo). Esta teoria é chamada de dualidade onda-partícula. (OKUNO; YOSHIMURA, 2010)

A partir do conceito de quantização proposto por Planck, Albert Einstein obteve a seguinte equação para explicar a energia dos fótons:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (1.1)$$

Onde h é a constante de Planck, que vale aproximadamente $6,63 \times 10^{-34}$ J.s ($4,14 \times 10^{-14}$ eV.s), c é a velocidade da luz no vácuo e λ é o comprimento de onda da onda (no sistema internacional sua unidade é o metro). (OKUNO; YOSHIMURA, 2010)

Analisando a equação (1.1) nota-se que a energia do fóton é inversamente proporcional ao comprimento de onda da onda. Logo, quanto maior o comprimento de onda menor a energia do fóton e, conseqüentemente, menor a frequência. Da mesma forma, quanto menor o comprimento de onda maior a energia do fóton e maior a frequência. A partir disto, podemos construir o espectro da radiação eletromagnética, representado na Figura 1.1.

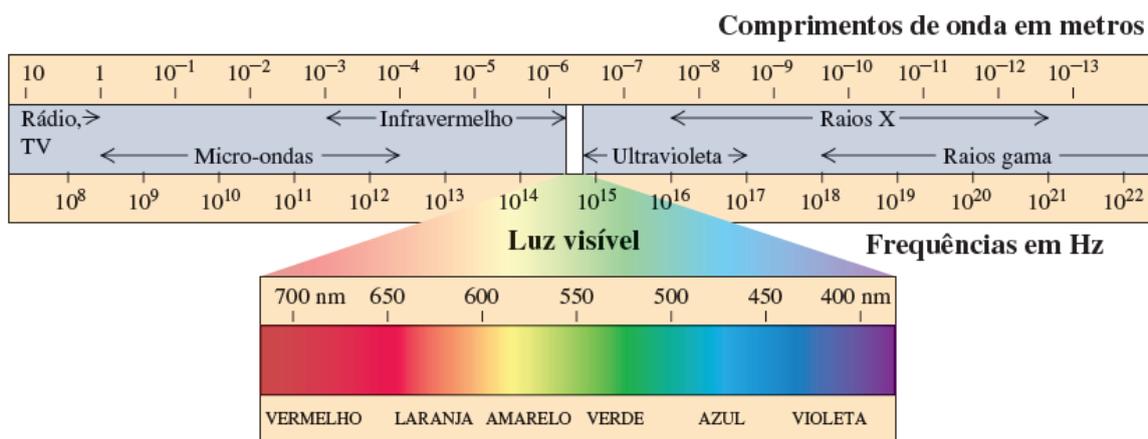


Figura 1.1: Espectro Eletromagnético

Pode-se notar da Figura 1.1, que somente uma pequena parte do espectro eletromagnético é visível. Este espectro visível é que se denomina de luz. O espectro visível (luz) está compreendido numa faixa de comprimento de onda que vai de 400 nm a 700 nm ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$). Como destacado na Figura 1.1, cada faixa de comprimento de onda desta luz nos dá uma sensação diferente de cor. (FREEDMAN et. al, 2014).

A seguir, discutiremos um pouco mais sobre as radiações, de maneira especial a radiação ultravioleta, os Raio-X, radiografias e radiações ionizantes e não ionizantes.

1.2 A RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A radiação ultravioleta (abreviada por UV ou RUV) é uma radiação eletromagnética de alta frequência. Uma das maneiras de se encontrar este tipo de radiação é através da radiação solar. A radiação ultravioleta tem como característica ondas com comprimentos de onda entre 200 a 400 nm. Ela pode ser classificada da seguinte maneira: UV-A (com comprimento de onda entre 320 e 400 nm), UV-B (com comprimento de onda entre 290 e 320 nm) e UV-C (com comprimento de onda entre 200 e 290nm). (SGARDI et. al, 2007; SCHALKA et. al., 2014).

A radiação incidente na Terra possui de 90 a 95% de raios UV-A. A alta exposição a esta radiação pode levar à pigmentação da pele ou, ainda, a oxidação da melanina, que pode levar ao escurecimento da pele. Já os raios UV-B apresentam uma taxa de incidência de 5 a 10% tendo maior intensidade de incidência ente as 10 e às 16 horas. Este tipo de radiação UV quando em excesso pode produzir lesões na pele, cataratas ou mutações genéticas. No entanto, ela é fundamental para o processo de produção de vitamina D pelo ser humano. Já o UV-C apresenta o menor comprimento de onda das outras duas citadas, sendo assim a mais energética das três. Contudo ela é neutralizada pela camada de ozônio, de modo que somente pequenas quantidades atingem a superfície terrestre. (LOPES et. al, 2018)

1.3 A DESCOBERTA DOS RAIOS-X

Em 8 de Novembro de 1895, o físico e engenheiro mecânico alemão Wilhem Conrad Rontgen, fazendo experimentos em tubos de crookes, notou uma luminescência vindo do tubo ao aplicar uma diferença de potencial. Os tubos de crookes (ou ampola de crookes) são feitos de vidro ou quartzo onde há vácuo em seu interior. Dentro da mesma há duas placas metálicas ligadas a uma fonte. A placa ligada com polo positivo é chamada de catodo e a placa negativa de anodo. Fazendo mais experimentos, para uma melhor análise do fenômeno ali presente, o mesmo descobriu que a luminescência ocorria devido os raios catódicos.

O físico inglês Sylvanus P. Thompson faz um relato bastante preciso sobre o experimento (GLASSER, 1995):

O dia 8 de novembro de 1895 será para sempre memorável na história da Ciência. Nesse dia uma luz que, no que diz respeito à observação humana, nunca esteve em terra ou mar, foi observado pela primeira vez. O observador, Prof. Wilhelm Conrad Roentgen. O lugar, o Instituto de Física da Universidade de Wurzburg em Bravana. O que ele viu com seus próprios olhos, uma tênue iluminação esverdeada sobre um pedaço de papelão, pintado com uma preparação química fluorescente. Sobre a superfície fracamente luminosa uma linha de escuridão sombra. Tudo isso em uma sala cuidadosamente escurecida, deque todos os tipos conhecidos de raios foram escrupulosamente excluídos. Naquela sala um tubo de Crookes, estimulado internamente por faíscas de uma bobina de indução, mas cuidadosamente coberto por um escudo de papelão preto, impermeável a todo tipo conhecido de luz, mesmo a mais intensa. Ainda na escuridão, expressamente dispostos de modo a permitir que o olho observe a luz fenômenos, nada visível até os raios até então não reconhecidos, emanados do tubo de Crookes e penetrando no escudo de papelão, caiu sobre a tela luminescente, revelando assim a sua existência e tornando a escuridão visível. (GLASSER, 1995, 1034 E 1035)

Tal fenômeno foi batizado de Raio-X. Contudo, este nome era apenas provisório. Fazendo mais experimentos com a nova descoberta, foi observado que a luminescência tinha a capacidade de atravessar materiais sólidos, como vidro, madeira, várias páginas de livros, etc. A partir disto, surgiu a ideia de se fazer o mesmo com o corpo humano. A partir disto, surgiu a primeira radiografia que foi tirada da mão de sua esposa em 1895.



Figura 1.2: Primeira fotografia de Raio-X: a mão da esposa de Rontgen.

Sylvanus P. Thompson também comenta sobre a importância e o quão extraordinário foi a descoberta feita por Rontgen (GLASSER,1995):

[...] Os raios invisíveis - pois eles eram invisíveis, exceto quando caíram sobre a tela pintada quimicamente - tinham um poder de penetração até então inimaginável. Eles penetraram papelão, madeira e tecido com facilidade. Eles passavam até por uma prancha grossa, ou um livro de 2.000 páginas, iluminando a tela colocada por outro lado. Mas metais como cobre, ferro, chumbo, prata e ouro eram menos penetráveis, o mais denso deles sendo praticamente opaco. Estranho. Acima de tudo, enquanto a carne era muito transparente, os ossos eram bastante opacos. E assim o descobridor, interpondo sua mão entre a fonte dos raios e seu pedaço de papelão luminescente, viu os ossos de sua mão viva projetada em silhueta na tela. A grande descoberta foi feita. (GLASSER, 1995, 1034)

1.4 A LUZ VISÍVEL

A luz (redundantemente chamada de luz visível) são as radiações do espectro eletromagnético que compreendem o intervalo de comprimento de onda entre 390 nm e 700nm. Uma de suas características fundamentais é que comprimento de onda com estas magnitudes podem ser vistas a olho nu, sendo o vermelho (o mais longo com 760 nm) e o violeta (o mais curto com 380 nm). (MATHEUS, L. M., et. al. 2017; MICHELIS, Larissa, 2005)

Podemos enxergar a cor dos objetos através da radiação eletromagnética refletida pelos objetos que atingem nosso olho. Quando a luz atinge um objeto parte da mesma é absorvida pelo material e parte é refletida. A parte da onda absorvida é denominada de onda refratada. Todo objeto contém um índice de refração, o qual indica o quanto é alterada a velocidade da luz ao penetrar um determinado material, reduzindo ou aumentando a velocidade da luz no meio material, e conseqüentemente alterando o comprimento de onda da onda (a frequência da onda se mantém inalterada). Certo percentual de luz que não foi refratada é refletida, e é esta que chega aos nossos olhos. (MICHELIS, Larissa, 2005; GIACONI, paollo, 2019)

Os materiais em que a luz pode se propagar são chamados de “meios transparentes” e aqueles que a luz não pode se propagar são chamados de “meios

opacos”. A superfície que separa dois meios materiais é chamada de “interface”. Pode-se ter uma melhor visualização desses conceitos de onda refletida, onda refratada e interface observando a Figura 1.3.

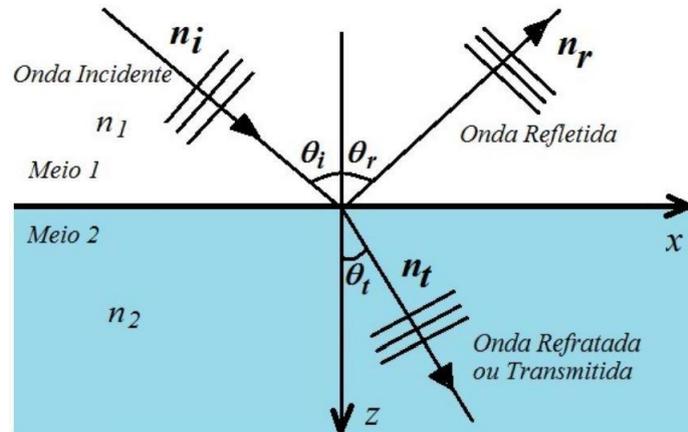


Figura 1.3: Representação esquemática da refração e reflexão da luz. Fonte: http://www.eletrica.ufpr.br/cadartora/Documentos/TE053/08-Incidencia_em_interfaces.pdf

Algumas propriedades importantes podem ser caracterizadas neste fenômeno de incidência da luz em uma superfície. A primeira delas é que o ângulo de incidência do raio incidente é igual ao ângulo do raio refletido, sendo este ângulo medido em relação à reta normal à superfície. Esta propriedade é chamada de “lei da reflexão”. Já a lei da refração associa o ângulo de incidência com o ângulo do raio de luz refratado. Podemos relacionar estes parâmetros pela seguinte equação (HALLIDAY, 2018)

$$n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2. \quad (1.2)$$

A Equação (1.2) é conhecida como “Lei de Snell”. Os índices de refração n_1 e n_2 caracterizam os meios em que a luz se propaga. O índice de refração é definido pela seguinte relação:

$$n = \frac{c}{v}, \quad (1.3)$$

onde v é a velocidade de propagação da luz no meio material e c é a velocidade da luz no vácuo. Como a velocidade de propagação da luz em um meio material, v , é sempre menor que a velocidade da luz no vácuo, c , nota-se da Eq. (1.3) que o índice de refração n será sempre maior que 1.

A partir da Eq. (1.2) pode-se concluir que:

1. Se $n_1 = n_2$ então: $\theta_1 = \theta_2$. Nesse caso, a refração não desvia o raio luminoso, que continua sua trajetória retilínea.
2. Se $n_2 > n_1$ então: $\theta_2 < \theta_1$. Nesse caso, a refração faz o raio luminoso se aproximar da normal.
3. Se $n_2 < n_1$ então: $\theta_2 > \theta_1$. Nesse caso, a refração faz o raio luminoso se afastar da normal.

Deste modo, nota-se que o índice de refração além de estar diretamente relacionado com a velocidade da luz no meio, está também relacionado com a direção em que o raio de luz será refratado.

Como dito anteriormente, para cada comprimento de onda, contido no intervalo descrito como luz visível, temos uma cor diferente. Isto ocorre por conta que a luz branca contém todas as cores. Tal propriedade é chamada de dispersão cromática. (HALLIDAY, 2018)

Um assunto interessante relacionado a este contexto é a formação do arco-íris. A formação do arco-íris ocorre quando um feixe luminoso incide em uma gota d'água. No interior da gota de água tem-se presente a refração e a reflexão da luz. Ao atingir a parede interna da gota ocorre uma reflexão da onda que é chamada de reflexão de primeira ordem. Quando o mesmo raio luminoso refletido atinge novamente outro ponto da parede interna da gota, tem-se a chamada reflexão de segunda ordem, e assim por diante. Além disso, ao entrar e sair desta mesma gota tem-se a mudança de direção do raio luminoso, devido à diferença do índice de refração da gota d'água e do ar. A Figura 1.4 apresenta esquematicamente estas reflexões. O físico inglês Isaac Newton mediu alguns desses ângulos relacionados a cada cor. Sendo a cor vermelha relacionada a aproximadamente 137° e $58'$ e a luz violeta a 139° e $43'$. (NUSSENZVEIG. H Moysés, 1977).

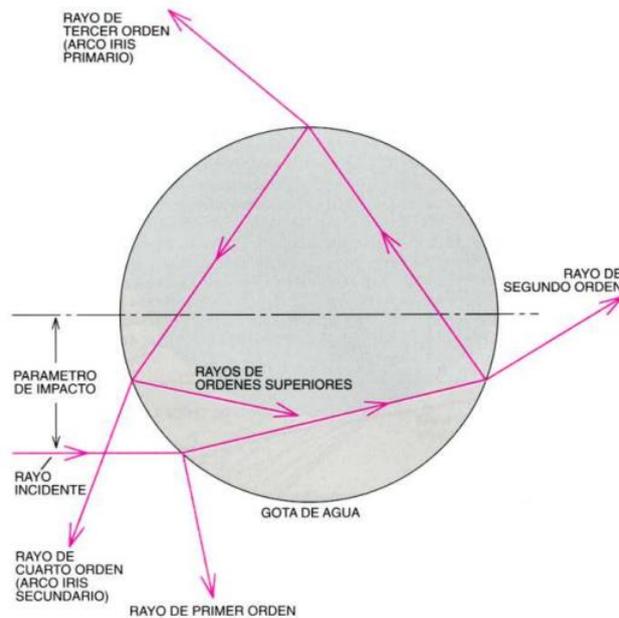


Figura 1.4: Refração primária e secundária em uma gota d'água.

1.5 A RADIOATIVIDADE

Antes da década de 1890 pouco se sabia sobre as radiações. A melhor forma de radiação compreendida, até então, era a proposta por Maxwell para a radiação eletromagnética. Na mesma época discutia-se a natureza dos raios catódicos descobertos pelo físico Johann Hittorf em 1895 e a misteriosa radiação descoberta por Roentgen na mesma época. (RADVANYI et al, 2017)

Durante os anos seguintes o matemático Henri Poincaré, muito interessado pelos Raios-X, discute na “Académie des sciences” em Paris os resultados apresentados por Roentgen. Sua sugestão era que tal fenômeno ocorria por meio da fluorescência advinda do vidro dos tubos de crookes. Florescência, por sua vez, é a propriedade de cada material de absorver luz e reemitir em diferentes frequências. O físico Antoine Henri Becquerel se interessou pelo fenômeno e se ocupou trabalhando no mesmo durante os próximos meses. (RADVANYI et al, 2017)

Logo Henri Becquerel começou suas pesquisas acerca de materiais que emitissem radiação semelhante aos Raios-X. Em um de seus experimentos ele utilizou sal de urânio em uma chapa fotográfica envolta em um papel exposto ao sol por algumas horas. Ao final do experimento relatou que manchas pretas apareciam no papel, como mostrado na Figura 1.5. Baseado nas observações feitas, fez a

seguinte consideração: “Substâncias fosforescentes emitem radiação a qual é capaz de atravessar um papel que é opaco à luz” (RADVANYI et al, 2017). Estes resultados foram apresentados cerca de 35 dias dele ter começado a estudar as radiações corpusculares. (RADVANYI et al, 2017 e OKUNO, 2018)

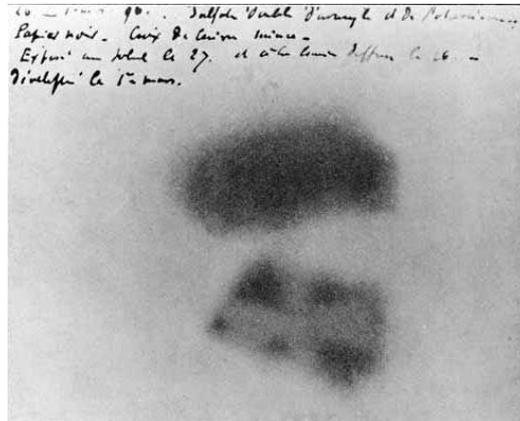


Figura 1.5: Fotografia feita por Becquerel.

Feita esta descoberta, Becquerel tentou repetir o experimento, contudo utilizando sal de urânio com cobre e potássio enrolado em um papel sobre uma chapa fotográfica. Devido ao tempo ruim não foi possível expor as amostras ao sol e estas ficaram guardadas dentro de uma gaveta fechada. Passado alguns dias Becquerel verificou que havia novamente manchas no papel guardado na gaveta, mesmo sem serem expostos a raios solares. Com isso, foi concluído que o urânio não precisa de exposição ao sol para emitir radiação. (OKUNO,2018)

Em meados de 1897, a física e química polonesa Marie Curie iniciou sua tese de doutorado em “raios de Becquerel”. Seu objetivo de estudo era descobrir se haviam outros materiais, além do Urânio, que apresentassem o mesmo comportamento. Logo, a cientista polonesa e seu marido Pierre Curie começaram as pesquisas. (ANTUNES et. al, 2012)

Além de estudar a condutividade elétrica do ar sob a radiação do Urânio, examinando uma grande quantidade de metais, foi constatado que o tório também emitia radiação. Foi observado também que existiam dois minerais com atividades bastante elevadas, o primeiro era o pitchblende (óxido de urânio) e o segundo era a chalcocite (fosfato de cobre e urânio). Em Julho de 1898 foi descoberto o elemento radioativo polônio, derivado destes minerais e em Dezembro do mesmo ano foi descoberto o elemento rádio. (RADVANYI et al, 2017 e OKUNO, 2018)

Com tais descobertas, o mundo inteiro se voltou para os raios becqueréis a fim de se encontrar a explicação para este fenômeno. Marie Curie e Pierre Curie tinham duas hipóteses sobre o fenômeno: “ou uma grande quantidade de energia foi estocada há muito tempo (em materiais radioativos) ou existem fontes de energia do espaço, que estes materiais são capazes de usar. [...] Cada material radioativo funciona como uma fonte constante de energia”. (RADVANYI et al, 2017).

Contudo, tais hipóteses estavam erradas. Foram através de experimentos feitos pelos físicos Ernest Rutherford e Frederick Soddy, em 1902 na cidade de Montreal, que foi possível entender o fenômeno. Foi constatada a mudança de elemento químico de átomos radioativos. Isto ocorria já que esses apresentavam instabilidade em sua estrutura atômica. Esta transformação se dava por meio da emissão de radiação. Para aprofundarmos mais a cerca desta discussão devemos, primeiro, discutir sobre radionuclídeos, que são os responsáveis pela emissão de radiação por um átomo radioativo. (RADVANYI et al, 2017).

Radionuclídeos podem ser definidos como núcleos radioativos. O átomo é a menor unidade da matéria, este é composto basicamente de elétrons, prótons e nêutrons. Na física nuclear podemos chamar o número atômico (que é número de prótons de um átomo) como Z e o número da massa como A . Deste modo, podemos sintetizar esta notação da seguinte forma: ZAX , onde X é o elemento químico em questão. Contudo, o número atômico não varia, é constante para cada elemento, enquanto a massa atômica pode variar. Se isto ocorre temos os chamados isótopos. Esta variação pode acontecer devido à diferença entre o número de prótons e nêutrons, uma vez que o núcleo é composto por estes. (OKUNO, 2013)

Deste modo, isótopos não são elementos estáveis, e por conta disso, eles emitem radiação a fim de atingir a estabilidade. Deste modo, temos que:

Os núcleos dos radionuclídeos são instáveis e emitem partículas espontaneamente num processo chamado desintegração ou decaimento nuclear. A instabilidade se deve à competição entre forças elétricas de repulsão entre prótons e de força nuclear de atração entre prótons, entre nêutrons e entre um próton e um nêutron. Então, dependendo da quantidade de prótons e de nêutrons num núcleo, a instabilidade pode ser maior ou menor ou não existir a instabilidade, e nesse caso o núclídeo é dito estável. (OKUNO, 2013)

Chamamos este fenômeno de decaimento tendo sido estudado também por Rutherford e Soddy. Foi observado que este fenômeno tem uma curva exponencial:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1.4)$$

onde N é o número de átomos radioativos no tempo t , N_0 é número de átomos radioativos no tempo inicial e λ é a probabilidade de desintegração do átomo por unidade de tempo chamada de “constante de desintegração”. Além disso, temos outro parâmetro fundamental, o tempo de meia-vida que é definido como o tempo necessário para reduzir a radioatividade de um corpo pela metade, podendo ser expresso pela seguinte equação (CARDOSO, et al., 2000; RADVANYI et al, 2017):

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (1.5)$$

Expressando a equação 1.5 em função de λ e substituindo na equação 1.4 tem-se:

$$N = N_0 e^{-\frac{(\ln 2)t}{T_{1/2}}} \quad (1.6)$$

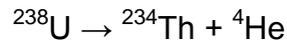
A equação (1.6) determina quantos átomos radioativos terá o átomo após transcorrido um tempo t . Além disso, foi descoberto que as radiações emitidas tinham várias características e propriedades importantes. Foram descobertas, a partir dos experimentos de Rutherford e Frederick Soddy, basicamente, três tipos diferentes de radiações emitidas: radiação alfa (α), beta (β) e gama (γ). A discussão detalhada destas será feita nos próximos tópicos. (RADVANYI et al, 2017)

1.6 RADIAÇÕES ALFA, BETA E GAMA

1.6.1 Radiação Alfa

A radiação alfa é a radiação com o menor poder de penetração na matéria, ou seja, ela é a mais facilmente absorvida por um meio material. As partículas alfa são núcleos de átomo de hélio. Ao decair, alguns átomos emitem a partícula alfa, e através desta forma de decaimento, o átomo inicial se transforma em outro. As energias liberadas estão associadas às energias potenciais de repulsão coulombiana existente no interior do átomo (RADVANYI et al, 2017; HALLIDAY et al,

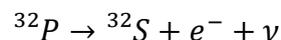
2012). Um exemplo de átomo que decai emitindo a partícula alfa é o urânio 238 que ao se desintegrar se transforma em Thorio 234 e Hélio 4, isto é:



1.6.2 Radiação Beta

Também foram estudados os comportamentos de átomos radioativos em contato com campos elétricos e magnéticos. Logo, foi descoberto que havia um tipo de radiação que era desviado na presença de campos magnéticos. Neste, foi constatado que havia a ejeção de elétrons em seu feixe. Este tipo de radiação foi chamada de radiação beta (geralmente representada simplesmente pela letra grega β). Comparada com a radiação alfa, temos que a radiação beta tem maior poder de penetração. (RADVANYI et al, 2017)

Tal fenômeno, assim como a liberação da radiação alfa, tem caráter probabilístico. A diferença primordial entre esta radiação e a citada anteriormente é que a radiação beta emite neutrinos e elétrons ou pósitrons. Os neutrinos podem ser definidos como uma partícula sem carga elétrica e de massa desprezível, e por conta disto a sua detecção é uma tarefa muito difícil envolvendo grandes detectores de alto custo financeiro. Já os pósitrons apresentam cargas positivas e massa igual à de um elétron, ou seja, é a antipartícula do elétron. Ao liberar um elétron durante o decaimento, temos o decaimento chamado de β^- , caso contrário, ao liberar um pósitron, temos um decaimento chamado de β^+ . A seguir, temos um exemplo de decaimento beta. (HALLIDAY et al, 2012)



1.6.3 Radiação Gama

Esta modalidade de raios corpusculares foi descoberta em meados de 1900 pelo físico Paul Villard. Em seus experimentos, foram analisadas e estudadas as radiações eletromagnéticas não desviadas por campos magnéticos, e, a partir de seus resultados, foi constatado que este também continha grande poder de penetração. Esta forma de radiação foi primeiramente denominada de “Raios-X

emitidas pelo rádio” e mais tarde foi chamada de raios, gama (geralmente representada simplesmente pela letra grega γ). (RADVANYI et al, 2017)

Ao incidir raios gama sobre um determinado material podem existir, basicamente, três formas de interação: Efeito Compton; Efeito Fotoelétrico e Produção de Pares (MONTANHEIRO, 1977). A seguir discute-se brevemente estas três formas de interação e suas principais características.

a) Efeito Compton

Este tipo de interação se dá pela colisão elástica entre um feixe de raios-gama e um elétron livre. Deste modo, a energia do fóton deste raio é maior que a energia de ligação do elétron (este conceito será discutido mais a frente no tópico sobre radiação ionizante). Este fenômeno está esquematicamente representado na Figura 1.6.

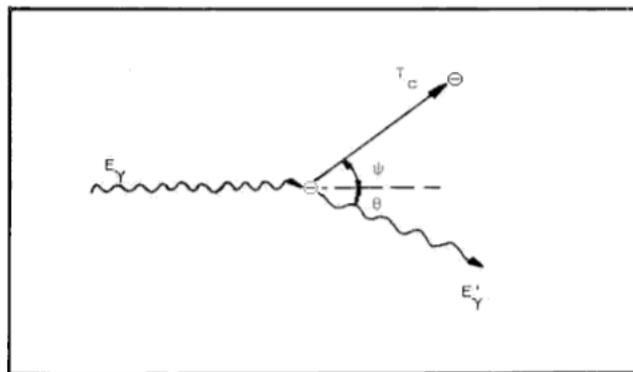


Figura 1.6: Representação esquemática do efeito Compton. T_c é a energia do elétron espalhado. Fonte: (MONTANHEIRO, 1977).

Sendo a energia do fóton incidente $E_\gamma = h\nu$, a energia do fóton de raio gama após a colisão, E'_γ , pode ser determinada pela seguinte equação:

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma(1 - \cos\theta)}{m_0c^2}}, \quad (1.7)$$

onde m_0c^2 é a energia de repouso do elétron e θ é o ângulo de espalhamento do fóton (veja Figura 1.6). A Eq. (1.7) foi obtida utilizando as propriedades da conservação de momento linear (MONTANHEIRO, 1977).

b) Efeito Fotoelétrico

Este efeito acontece quando o fóton de raio-gama incide sobre um elétron ligado em um átomo. Geralmente, ocorre em elétrons presentes nas camadas K e L, que tem menor energia de ligação e ao ser incidido por um fóton de raio gama, temos a absorção do mesmo. Podemos definir a energia do elétron espalhado, T_c , nesta situação com pela seguinte equação:

$$T_c = E_\gamma - B_e, \quad (1.8)$$

onde B_e é a energia de ligação do elétron com o núcleo e E_γ é a energia do fóton de radiação gama incidente (MONTANHEIRO, 1977).

c) Produção de Pares

O processo de produção de pares ocorre quando o fóton de raio gama incidente é totalmente absorvido próximo ao núcleo atômico. Ocorre, geralmente, quando a energia do fóton é igual ou superior a 1,02 MeV. A Figura 1.7 mostra esquematicamente este processo.

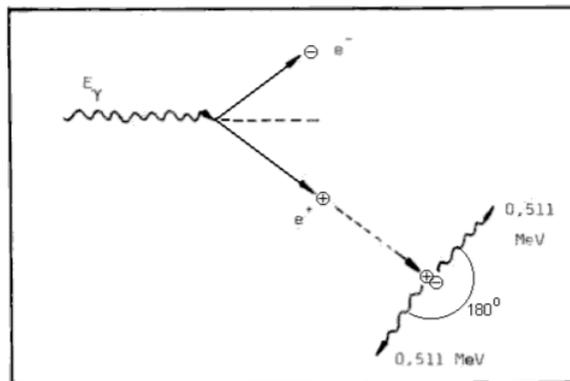


Figura 1.7: Representação da produção de pares (MONTANHEIRO, 1977).

Deste modo, a energia cinética do elétron (pósitron) de carga negativa (positiva) liberados tem a seguinte energia:

$$T_e^+ = T_e^- = \frac{E_\gamma - 2m_0c^2}{2} \quad (1.9)$$

onde m_0c^2 é a energia de repouso do elétron e E_γ é a energia do fóton de radiação gama incidente.

1.7 RADIAÇÃO IONIZANTE

Para melhor compreendermos a radiação ionizante precisamos, antes, entender um pouco sobre o funcionamento de um átomo. Para este entendimento utilizaremos os conceitos propostos pelo físico dinamarquês Niels Bohr em meados de 1913. O modelo atômico proposto por Bohr deveria obedecer aos seguintes critérios (EISBERG, 1979, P. 138):

1. Um elétron em um átomo se move em uma órbita circular em torno do núcleo sob influência da atração coulombiana entre o elétron e o núcleo, obedecendo às leis da mecânica clássica.
2. Em vez da infinidade de órbitas que seriam possíveis segundo a mecânica clássica, um elétron só pode se mover em uma órbita na qual seu momento angular orbital L é um múltiplo inteiro de \hbar (\hbar é a constante de Planck dividida por 2π).
3. Apesar de estar constantemente acelerado, um elétron que se move em uma dessas órbitas possíveis não emite radiação eletromagnética. Portanto sua energia total E permanece constante.
4. É emitida radiação eletromagnética se um elétron, que se move inicialmente sobre uma órbita de energia total E_i , muda seu movimento descontinuamente de forma a se mover em uma órbita de energia total E_f . A frequência da radiação emitida ν é igual à quantidade $(E_i - E_f)$ dividida pelo constante de Planck h .

A fim de satisfazer o postulado 1, devemos igualar a atração da carga do elétron e do próton à força centrípeta do sistema. Deste modo, temos a seguinte equação:

$$F_{res} = \frac{qq}{4\pi\epsilon_0 r^2} = m \cdot a = m \frac{v^2}{r} \quad (1.10)$$

Para o segundo postulado utilizamos o conceito de momento angular, que neste caso é constante. Da mecânica clássica, sabemos que o momento angular pode ser dado pela seguinte equação:

$$L = mvr \quad (1.11)$$

Contudo, para satisfazer este postulado, devemos igualar a Eq. (1.11) ao produto entre um número inteiro positivo maior que zero e a constante de Planck dividido por 2π (\hbar). Assim, tem-se:

$$L = mvr = n\hbar \quad (1.12)$$

Escrevendo a Eq. (1.12) em função da velocidade e elevando a mesma ao quadrado temos a seguinte equação:

$$v^2 = \left(\frac{n\hbar}{mr}\right)^2 \quad (1.13)$$

Com isto, podemos substituir a Eq. (1.13) na Eq. (1.10). Assim, tem-se:

$$q^2 = \frac{m4\pi\epsilon_0 r^2}{r} \left(\frac{n\hbar}{mr}\right)^2 \quad (1.14)$$

Efetuada as devidas simplificações e resolvendo a equação para a variável r , que é a distância do elétron até o núcleo, tem-se a seguinte equação:

$$r = \frac{4\pi\epsilon_0 n^2 \hbar^2}{mq^2} \quad (1.15)$$

Note que para $n \rightarrow \infty$ tem-se que $r \rightarrow \infty$, ou seja, o elétron não estaria mais ligado ao átomo.

Podem-se efetuar cálculos semelhantes para encontrar a velocidade de um elétron em uma determinada órbita. Para isto, ao invés de resolver a (1.12) em função da velocidade fazemos isto em função do raio da órbita r . Desta forma, tem-se que a velocidade de um elétron é dada pela seguinte expressão:

$$v = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 n\hbar} \quad (1.16)$$

O quarto postulado diz que se o elétron em órbita altera a sua energia tem-se a emissão (ou absorção) de radiação eletromagnética, sendo a frequência desta radiação absorvida ou emitida dada pela seguinte equação:

$$\nu = \frac{|E_f - E_i|}{h} \quad (6.8)$$

Sabendo disto, podemos calcular a energia média de ligação de um elétron, usando que a energia E do elétron é:

$$E = K + U \quad (1.18)$$

Calculando a energia cinética com a velocidade obtida pela Eq. (1.13), tem-se:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}\right)^2 \quad (1.19)$$

Para a energia potencial tem-se a seguinte equação:

$$U = -\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (1.20)$$

onde o sinal negativo nesta última equação é por conta da força colombiana neste caso ser atrativa. Efetuando a soma entre a energia cinética e potencial, como expresso na Eq. (1.18), tem-se a seguinte equação:

$$E = -\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 2r} \quad (1.21)$$

Substituindo r pelo resultado obtido pela Eq. (1.15), tem-se finalmente:

$$E = -\frac{mq^2}{16\pi^2\epsilon_0^2(n\hbar)^2} \quad (1.22)$$

Ao incidir radiação eletromagnética sobre um determinado átomo, ligação química ou molécula, a mesma pode ser absorvida. Caso a energia absorvida seja maior que a energia de ligação pode ocorrer a mudança de orbital atômico do elétron ou, até mesmo, a retirada do mesmo, gerando a ionização.

CAPÍTULO 2

CITOLOGIA

2.1 O QUE É A CÉLULA

Podemos definir células como:

Pequenas unidades delimitadas por membranas, preenchidas com uma solução aquosa concentrada de compostos e dotadas de uma capacidade extraordinária de criar cópias delas mesmas pelo seu crescimento e pela sua divisão em duas. (ALBERTS, Bruce et al, 2006, p. 01)

É a partir destas pequenas unidades que existe vida, desde seres mais simples até os mais complexos, todos apresentam células (ALBERTS, Bruce et al, 2006). Dito isto, células são unidades fundamentais para a vida. Neste capítulo discutiremos um pouco sobre estas estruturas com foco na química envolvida na mesma e na reprodução celular.

Nosso corpo é composto por células, que, por sua vez são compostas de moléculas que são agregados de átomos que é a unidade fundamental da matéria. Podemos enxergar melhor esta relação com a imagem mostrada na Figura 2.1 (NOUAILHETAS, YANNICK et al, 2005).

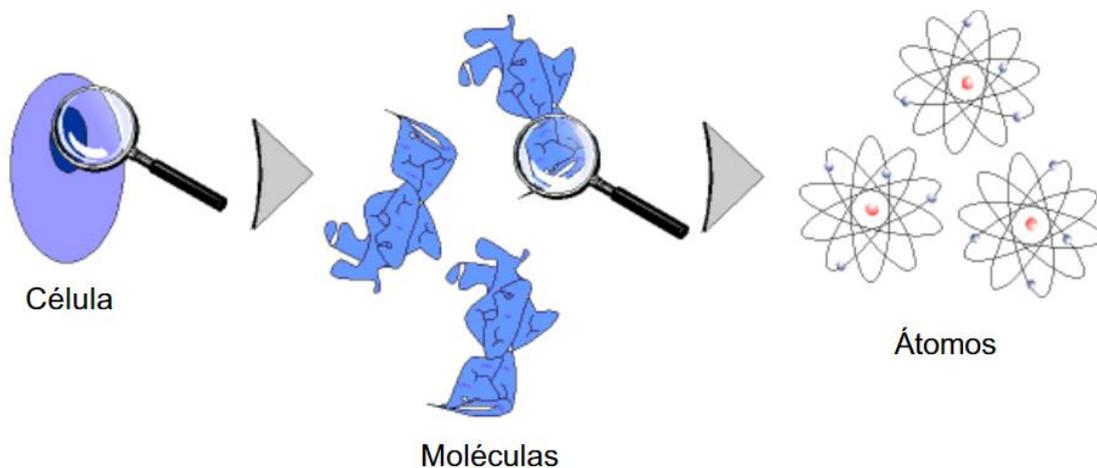


Figura 2.1: Formação de células (Nouailhetas, Yannick p. 4).

São graças às ligações com o carbono, C, que é possível a vida. Em meados de 1780, moléculas derivadas do carbono foram definidas como compostos orgânicos, que são aquelas obtidas a partir de seres vivos. É a partir deste elemento químico, por exemplo, que temos a formação de DNA, ácido desoxirribonucleico, e RNA, ácido ribonucleico, que carregam toda a nossa carga genética. O carbono é um elemento químico tetravalente (isto é, faz até quatro ligações químicas) e é ligado, principalmente, com outros quatro elementos químicos: Carbono, Nitrogênio, Oxigênio e Enxofre (SOLOMONS; GRAHAM, T. W, 2012).

Dentro das células temos algumas moléculas que desempenham papéis fundamentais para o funcionamento desta. São estas: açúcares, ácidos graxos, aminoácidos e nucleotídeos (ALBERTS, Bruce et al, 2006). A seguir, será descrito, de maneira sucinta cada uma destas moléculas e suas principais funções.

2.1.1 Açúcares

Os açúcares apresentam a fórmula molecular $(CH_2O)_n$, onde n pode ser 3, 4, 5 ou 6. Esta estrutura básica é chamada de monossacarídeos e a partir dela podem ser derivadas outras moléculas, Isto ocorre por meio de ligações químicas que são possíveis por conta de hidroxilas livres (ligações de um átomo de Hidrogênio e um de Oxigênio). Um exemplo é a molécula de glicose que apresenta a fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$ (ALBERTS, Bruce et al, 2006). A Figura 2.2, a seguir, mostra uma representação esquemática da molécula da glicose.

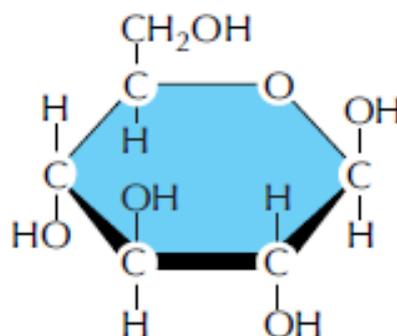


Figura 2.2: Molécula de Glicose (ALBERTS, Bruce et al, p. 52)

A principal função dos açúcares, em especial a glicose, é de funcionar como um fornecedor de energia à célula. Ao passar por reações químicas estas moléculas

são reduzidas e, com isto, temos a liberação de energia. Isto faz com que mais trabalhos possam ser realizados. (ALBERTS, Bruce et al, 2006)

2.1.2 Ácidos Graxos

Ácidos graxos apresentam a característica de serem moléculas anfipáticas, ou seja, parte dela pode ser dissolvida em água (hidrofílica) e parte não pode ser dissolvida em água (hidrofóbica). Além disso, a parte hidrofóbica é saturada, ou seja, não há ligações duplas nesta parte da molécula. Por outro lado, a parte hidrofílica é insaturada. (ALBERTS, Bruce et al. 2006), Na Figura 2.3 tem-se a representação de um ácido graxo.

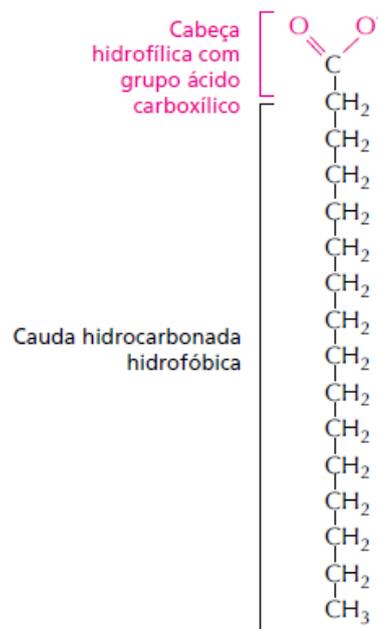


Figura 2.3: Ácido Graxo (ALBERTS, Bruce et al, p. 54).

Estas moléculas podem ser encontradas, principalmente no citoplasma das células e seus derivados são chamados de lipídeos. Dentre suas funções estão: reservar energia, armazenagem e transporte de combustível metabólico, um dos componentes fundamentais para a estrutura das membranas celulares, oferecem isolamento térmico, mecânico e elétrico à célula entre outros. (ALBERTS, Bruce et al. 2006; CORSINO, Joaquim, 2009)

Além destas aplicações para a célula, os lipídeos podem ser extraídos de animais ou plantas para fins alimentícios, como confecção e óleos de cozinha,

lubrificantes, sabão, resina, manteiga, etc. Além disso, também pode ser utilizado como componente para fabricação de biocombustíveis. (SILVA, Sandro do Nascimento; et al. 2016.)

2.1.3 Aminoácidos

Aminoácidos apresentam em sua estrutura química, base, um grupo amino, um grupo carbóxico ligado à um carbono α . Dos aminoácidos se formam as proteínas e a origem de sua palavra vem do grego cujo significado é “que ocupa o primeiro lugar”. Isto se dá por conta dos papéis desempenhados por esta molécula dentro da célula e por representar, aproximadamente, metade da massa de uma célula. (ALBERTS, Bruce et al. 2006; link dos livros online). A Figura 2.4 é a representação de uma molécula simples de um aminoácido.

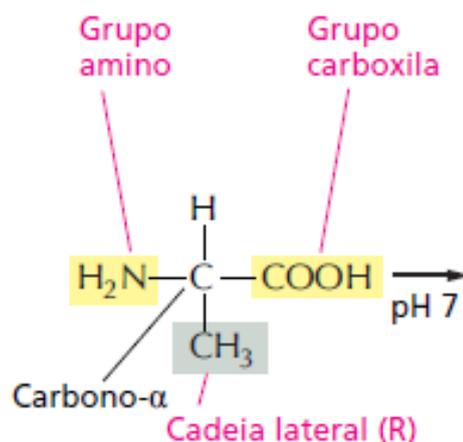


Figura 2.4: Aminoácido (ALBERTS, Bruce et al, p. 55)

Como dito anteriormente, os aminoácidos têm funções de suma importância na célula. Dentre elas, podemos citar: catálise enzimática, transporte e armazenamento, movimento coordenado, sustentação mecânica, proteção Imunitária, geração e transmissão de impulsos nervosos, controle e crescimento da diferenciação (CORSINO, Joaquim,2009)

2.1.4 Nucleotídeos

Nucleotídeos são formados por nucleosídeos. Os nucleosídeos são compostos por um anel de nitrogênio ligado a um açúcar contendo cinco carbonos.

Nucleotídeos, por sua vez, são compostos por um nucleosídeo ligado a um, ou mais, fosfatos ligados ao açúcar. É a partir destas estruturas que são derivados o DNA e o RNA da célula (ALBERTS, Bruce et al. 2006). A Figura 2.5 mostra uma representação esquemática de uma molécula de nucleotídeo.

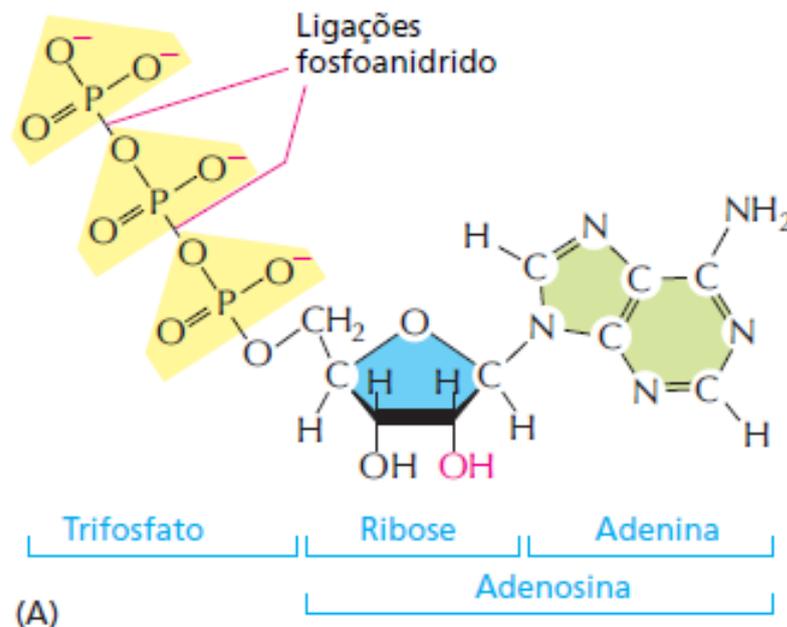


Figura 2.5: Nucleotídeo (ALBERTS, Bruce et al p. 57).

O Trifosfato na molécula representada na Figura 2.5 tem o papel fundamental na célula de transferir energia para reações metabólicas para a célula. Esta recebe o nome de ATP, ou trifosfato de adenosina. Quanto ao açúcar, podemos ter dois tipos diferentes ligados ao trifosfato e à adenina. O primeiro é a ribose. Nucleotídeos contendo ribose em sua composição são chamados de ribonucleotídeos. Já aqueles com desoxirribose são chamados de desoxirribosenucleotídeos (ALBERTS, Bruce et al. 2006).

Moléculas com base em ribose são conhecidas como RNA. Este apresenta grande semelhança com o DNA, exceto o fato que o RNA tem em sua composição Hidroxilas (-OH). Além disso, contém hélice única em seu formato (ALBERTS, Bruce et al. 2006). E esta molécula pode catalisar reações na célula. A Figura 2.6 mostra a representação de um RNA.

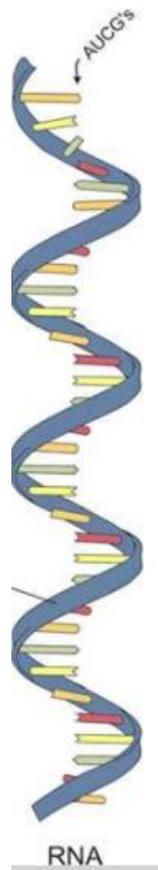


Figura 2.6: Representação de um RNA (Só Biologia).

Já os DNAs são formados pelos açúcares à base dos desoxirriboses. Dentre suas principais funções está levar a carga genética de uma célula a partir de combinações de bases. Esta característica será discutida com detalhes no próximo tópico. Esta apresenta em sua formação dupla hélice, diferentemente do RNA (ALBERTS, Bruce et al. 2006). Na Figura 2.7 temos a representação de um DNA.

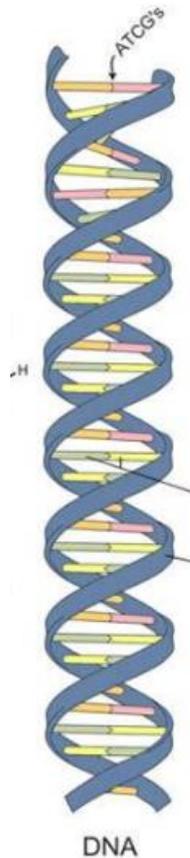


Figura 2.7: Representação de um DNA (Só Biologia,).

2.2 Codificação do DNA

Para a existência de vida é necessário armazenamento, replicação e tradução de genes presente nos seres vivos. A unidade responsável para tal tarefa é o DNA, uma vez que neles estão contidas as informações genéticas importantes para o pleno funcionamento do organismo. É a partir das informações genéticas que é definido quais proteínas devem ser produzidas para determinada função, sendo as proteínas as responsáveis por boa parte das funções celulares. (ALBERTS, Bruce et al. 2006)

As informações genéticas contidas dentro dos ácidos desoxirribonucleicos (DNA) são escritas a partir de um açúcar e quatro bases: Adenina (A), Citosina (C), Guanina (G) e Timina (T). Todas estas bases são necessárias para a escrita do código genético. Contudo, a combinação dessas é feita de maneira seletiva. A se liga com T, enquanto que C se liga com G. Tais padrões se repetem durante a dupla-hélice do DNA. (ALBERTS, Bruce et al. 2006). A Figura 2.8 mostra esquematicamente um fragmento de DNA.

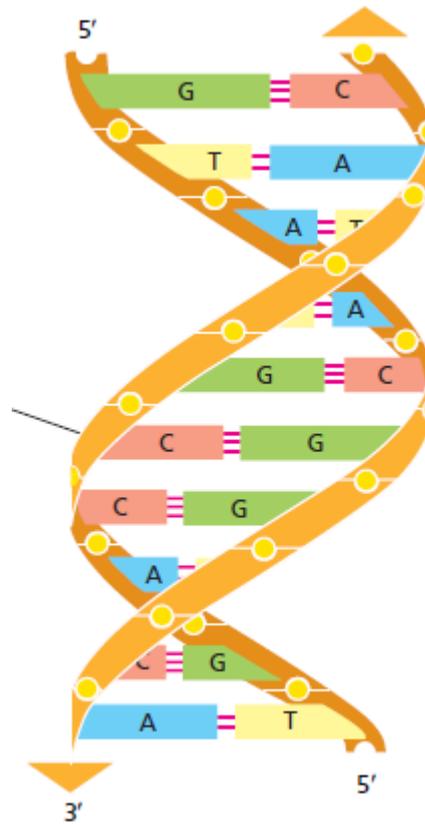


Figura 2.8: DNA (ALBERTS, Bruce et al, p. 173).

2.3 Reprodução Celular

O DNA é replicado durante o processo de replicação celular, onde todo o código genético é copiado e replicado em novas células. Para que isto ocorra é necessária uma série de etapas importantes.

A divisão celular ocorre, de maneira simplificada, em duas etapas. A primeira é chamada de interfase e compõe cerca de 90% de duração do processo, os outros 10% é chamado de fase mitótica. (FIGUEIREDO, Ana Cristina Marques, 2019). Podemos enxergar melhor este processo com a ajuda da Figura 2.9.

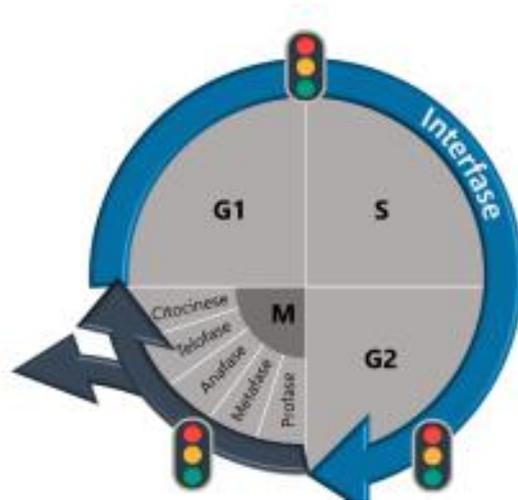


Figura 2.9: Esquema da reprodução celular (FIGUEIREDO, Ana Cristina Marques, p. 18)

Durante o período de interface, ocorrem três etapas. Sendo a primeira a fase G1, onde temos o crescimento da célula. Logo após, temos a replicação do material genético, de modo que a célula-filha seja idêntica a sua predecessora. Por fim, na etapa G2 temos outro crescimento das células. Feito isto, entramos na mitose, que tem como característica fundamental o processo de divisão celular. (FIGUEIREDO, Ana Cristina Marques, 2019)

Capítulo 3

INTERAÇÕES DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA

Introdução

Ao entrar em contato com um corpo orgânico, a radiação eletromagnética pode causar alguns efeitos, podendo ser estes: físicos, físico-químicos, químicos ou biológicos, podendo gerar doenças, como o câncer, leucemia, catarata, radiodermes, etc. Chamamos essas três etapas de estágios da ação.

Seguindo a ordem descrita anteriormente, temos que:

- I. Estágio Físico: Esta primeira etapa dura cerca de 10^{-15} s e é nela onde ocorrem as ionizações e excitações de átomos e moléculas que compõem as células. Feito isto ocorre o estágio físico-químico, que compõe a segunda etapa, onde é observada a quebra de ligações químicas e ionização de átomos da célula. Sua duração gira em torno de 10^{-6} s.
- II. Estágio Químico: Tem a duração de alguns segundos. É neste estágio que as células ionizadas se juntam com outras moléculas, como enzimas ou proteínas.
- III. Estágio Biológico: Gera alterações nas células e no funcionamento dos órgãos. Têm duração de dias ou anos. (OKUNO, E.; YOSHIMURA E. M., 2010).

Tais estágios podem ser esquematizados segundo a Imagem 3.1, a seguir:

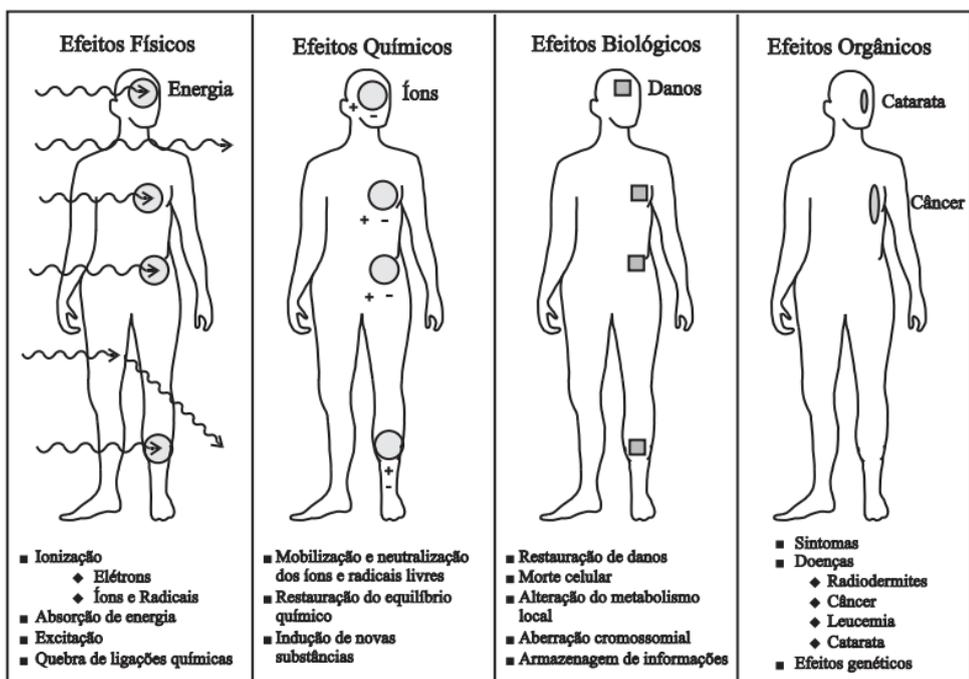


Imagem 3.1: Esquema de estágios da interação da radiação eletromagnética com o corpo humano.

Nas próximas seções descreveremos sobre como a radiação eletromagnética causa tais fenômenos.

3.1 Efeitos Físicos

Compõe o estágio I citado na introdução do capítulo. Antes de começarmos a discussão sobre as interações da radiação com o corpo, devemos compreender a unidade de medida que descreve a absorção de radiação eletromagnética com a matéria orgânica. Segundo o S.I. (Sistema Internacional de Unidades), a medida para radiação absorvida é dada em Gy, Gray, (J/kg) que é a razão entre a energia e a massa de determinado corpo. (OKUNO, E.; YOSHIMURA E. M., 2010)

Ao incidir radiação eletromagnética em um corpo, parte da mesma é absorvida. Com isso, podemos citar, basicamente, três tipos diferentes de exposição à radiação: única; fracionada ou periódica. Exposições únicas podem ocorrer, por exemplo, em exames médicos. As fracionadas em radioterapias e, por fim, periodicamente ao entrar em contato com o sol. Todos esses exemplos de contatos com radiação eletromagnética podem ocasionar os estágios de ação descritos na introdução do capítulo.

Uma das consequências da alta absorção de radiação eletromagnética é a morte celular ou a mutação genética. Podemos observar a relação morte celular e dose absorvida pelo gráfico da Imagem 3.2 a seguir.

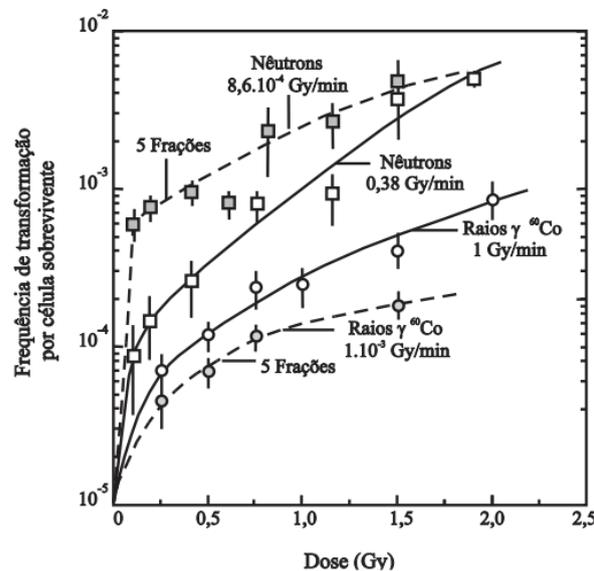


Imagem 3.2: Gráfico de sobrevivência de célulasXdose absorvida

Nota-se que quanto maior a dose absorvida por minuto maior o risco de morte celular. Discutiremos melhor tais conceitos no decorrer do capítulo.

Um dos motivos pelo qual ocorre a morte celular é por conta da ionização de determinado átomo na ligação química ou por alta agitação das moléculas devido à transferência de energia cinética da partícula com o material estudado. O fenômeno descrito ocorre, basicamente por três processos: Efeito fotoelétrico, Efeito Compton e criação de par elétron-pósitron. A ocorrência destas interações são probabilísticas, e dependem do número atômico do átomo analisado e da energia da radiação. Podemos notar melhor esta relação na Imagem 3.3 a seguir (OKUNO, E.; YOSHIMURA E. M., 2010).

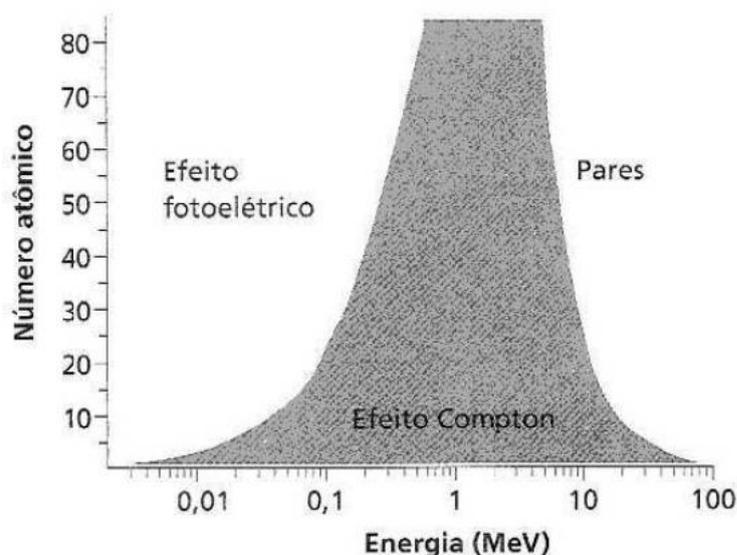


Figura 3.3: Probabilidade de ocorrência de fenômeno. (OKUNO, E.; YOSHIMURA E. M., 2010. P. 113)

Observando o gráfico notamos que quanto menor a energia da radiação maiores as chances de ocorrência do efeito fotoelétrico. A criação de pares tem maior probabilidade de ocorrência quando há maior energia da radiação. Já o efeito Compton tem maior probabilidade de ocorrência quanto maior for o número atômico de determinado átomo. Todos estes fundamentos foram descritos no Capítulo 1 na seção 1.6.3.

Uma das consequências é a quebra de ligações químicas gerando íons ou, apenas excitando elétrons presente nas moléculas irradiadas podendo alterar o orbital atômico do mesmo (OKUNO, E.; YOSHIMURA E. M., 2010). Estas são basicamente as consequências físicas da radiação eletromagnética sobre um determinado corpo.

3.2 Efeitos Químicos

Este estágio diz respeito ao estágio II citado na introdução deste capítulo. Ao ionizar um determinado átomo, ou molécula, a resultante gera radicais livres. Ou seja, elétrons livres. No interior de uma célula há várias moléculas e, por sua vez, átomos. Dito, isto a tendência, nestas condições, seria de neutralizar os íons e radicais gerados gradativamente visando o equilíbrio químico. Durante este processo, o radical livre. Os íons e os agentes oxidantes podem danificar moléculas importantes, como os cromossomos.

3.3 Efeitos Biológico

Os danos biológicos causados pela radiação estão diretamente relacionados a prejuízos ao cromossomo, onde está localizado o DNA que contém a carga genética. Como dito no Capítulo 2, células são a unidade básica de um ser vivo, e estas são compostas de moléculas que, por fim, são compostas de átomos. Toda carga genética é composta de combinações e informações contidas no ácido desoxirribonucleico. Estas são compostas da combinação de um açúcar e quatro bases: Adenina (A); Citosina (C); Guanina (G) e Timina (T). Estas bases são combinadas, formando o DNA que ficam localizadas no cromossomo. (OKUNO, E.; YOSHIMURA E. M., 2010 E ALBERTS, Bruce et al., 2006.)

Ao incidir radiação ionizante em um cromossomo, levando à quebra de fitas de DNA. Feito isto, o DNA pode ser reparado (que ocorre na maioria dos casos) ou pode ocorrer rearranjo nas fitas de DNA, gerando aberrações cromossômicas. Elas podem ocorrer, basicamente de três formas diferentes: peroxidação, separação de fragmentos ou ligação cruzada. (OKAZAKI, Kaya, 1995; OKUNO, E.; YOSHIMURA E. M., 2010). Podemos ver a representação destas na Imagem 3.4 a seguir:

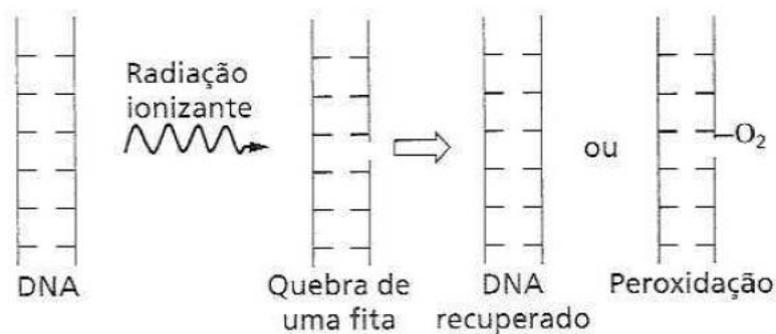


Imagem 3.4: Peroxidação. (OKUNO, E.; YOSHIMURA E. M., 2010, p. 208)



Figura 3.5: Separação de fragmentos. (OKUNO, E.; YOSHIMURA E. M., 2010, p. 208)



Figura 3.6: Ligação Cruzada. (OKUNO, E.; YOSHIMURA E. M., 2010, p. 208)

3.4 Efeitos Orgânicos

As consequências dos efeitos biológicos no corpo geram efeitos orgânicos, podendo ser a morte celular causada por dano demasiado devido à exposição de radiação eletromagnética ou a carcinogênese. Os efeitos da morte celular podem ser observados a partir da dose absorvida de radiação. O ser humano ao ser exposto a uma radiação entre 0,25 a 1 Gy já é suficiente para causar náuseas. Doses entre 1 a 3 Gy podem causar infecções. De 3 a 6 Gy hemorragias, epliação e esterilidade. Por fim, 10 Gy pode causar inflamação nos pulmões, e doses maiores podem levar à morte. (OKUNO, E.; YOSHIMURA E. M., 2010; E OKAZAKI, Kaya, 1995)

Já carcinogênese não existe limiar de dose para sua ocorrência. Assim, até mesmo a exposição à radiação ambiente pode causar câncer. Tal fenômeno é chamado de efeitos estocásticos, e podem aparecer, principalmente, de duas formas: efeitos cancerígenos e efeitos hereditários. O primeiro é caracterizado por células que receberam radiação eletromagnética e a partir dela houve danos na informação genética. A segunda tem a ver com a hereditariedade, ou seja as mutações são passadas de geração em geração. Um exemplo deste segundo caso são os sobreviventes das bombas de Nagasaki e Hiroshima, na medida em que seus filhos tiveram doenças relacionadas à mutação genética (OKUNO, E.; YOSHIMURA E. M., 2010; capítulo 4; OKAZAKI, Kaya, 1995)

Como dito anteriormente, uma célula pode morrer por ter contato com radiação eletromagnética. Contudo, ela também pode morrer ao não conseguir mais se reproduzir ou por suicídio, quando há várias células com a mesma função. Entretanto, pode ocorrer que determinada célula prolongue sua vida e se prolifere além do tempo programado, criando várias células-filhas ocasionando

tumores. De maneira geral, podem ocorrer dois fenômenos, o primeiro é o crescimento descontrolado de células a mais, gerando os chamados tumores benignos, que podem ser removidos apenas com cirurgias. Já o segundo caso ocorre quando além do crescimento demasiado há a invasão destas células em outros territórios, ou seja, outros agrupamentos de células, criando tumores malignos. (ALBERTS, Bruce et al, 2006)

Dito isto, o câncer é uma doença genética, proveniente de várias formas, uma delas a radiação eletromagnética. Contudo, o número de mutações necessárias para transformar uma célula em uma célula cancerígena ainda não é definido. Dito isto, essa é uma doença com maior probabilidade na velhice, pois assim há mais tempo para que a célula acumule mutações suficientes para a geração de tumores (ALBERTS, Bruce et al, 2006)

A Imagem 3.7, logo abaixo, representa tumores malignos e sua proliferação desenfreada.

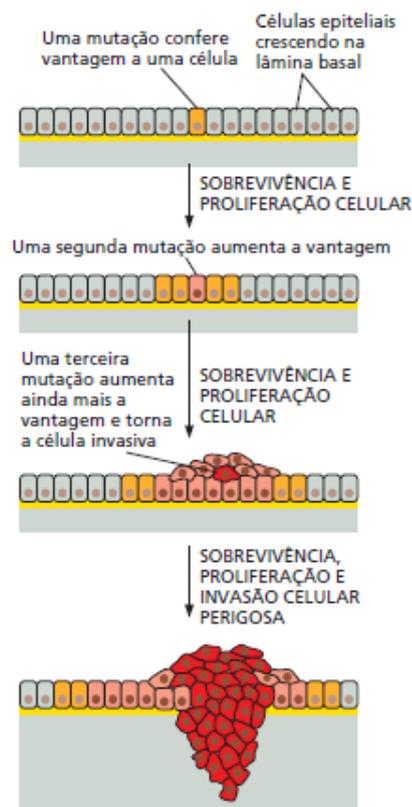


Figura 3.7: Proliferação de células mutantes. (ALBERTS, Bruce et al, 2006. P 716)

Há vários tipos de câncer. Aqui foi tratado apenas o que eles têm em comum. Além disso, apenas o câncer pela radiação eletromagnética foi tratado, a fim de limitar o conteúdo desta monografia.

Considerações Finais

Assim, podemos compreender mais sobre como a radiação eletromagnética que em contato com o corpo humano pode gerar complicações na saúde, causando doenças. Além disso, ficou explícito como um fenômeno físico simples e, aparentemente inofensivo, pode causar diversas consequências graves.

Tais resultados foram obtidos através de revisão bibliográfica feita com o intuito de compreender os conceitos necessários para o entendimento básico do problema que é o câncer. Aqui, foi tratado apenas o problema básico, a carcinógeno que se apresenta de diversas maneiras e com várias características a discussão foi feita a cerca apenas do que esta doença tem em comum com suas outras formas.

Dito isto, uma forma de melhorar este trabalho, futuramente, seria tratar sobre as diferentes formas de câncer separadamente com mais detalhamento.

Referências

BIRKS, John Betteley. **The theory and practice of scintillation counting: International series of monographs in electronics and instrumentation**. Elsevier, 2013.

FREEDMAN, H. D. Y. R. A. **Física 3: Electromagnetismo**. 14. ed. Santa Bárbara: Pearson, 2015. p. 1-470.

SGARDI, Flávia Celina; DO CARMO, Eliane Dias; ROSA, Luiz Fernando Blumer. Radiação ultravioleta e carcinogênese. **Revista de Ciências Médicas**, v. 16, n. 4/6, 2007.

CARDOSO, ELIEZER DE MOURA et al. Radioatividade. **Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN**, 2000.

SCHALKA, Sérgio et al. Brazilian consensus on photoprotection. **Anais brasileiros de dermatologia**, v. 89, p. 1-74, 2014.

GLASSER, Oto. WC Roentgen e a descoberta dos raios Roentgen. **AJR. Jornal americano de roentgenology**, v. 165, n. 5, pág. 1033-1040, 1995.

OKUNO, Emico. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. Oficina de Textos, 2018.

OKUNO, E.; YOSHIMURA, E. M. **Física das radiações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010

OKUNO, Emico. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. **Estudos avançados**, v. 27, p. 185-200, 2013.

PATRÍCIO, Maria da Conceição Marcelino; SILVA, Virgínia Mirtes de Alcântara; DE MELO FILHO, Antônio Antunes. A radioatividade e suas utilidades. **POLÊMICA**, v. 11, n. 2, p. 252-260, 2012.

RADVANYI, Pierre; VILLAIN, Jacques. The discovery of radioactivity. **Comptes Rendus Physique**, v. 18, n. 9-10, p. 544-550, 2017.

LOPES, Leandro Gonçalves; DE SOUSA, Cláudio Ferreira; DALLA LIBERA, Larisse Silva. Efeitos biológicos da radiação ultravioleta e seu papel na carcinogênese de pele: uma revisão. **Revista Eletrônica da Faculdade de Ceres**, v. 7, n. 1, p. 117-146, 2018.

MATHEUS, L. M. et al. Comunicação por luz visível: conceito, aplicações e desafios. 2017.

MICHAELIS, Larissa. **COR: EXPRESSÕES DE LUZ E SOMBRA**. 2005. Tese de Doutorado.

MONTANHEIRO, Maria Nazareth S.; NASCIMENTO FILHO, Virgílio F.; PINTO, Fernando A. Introdução à espectrometria gama. **Boletim Didático**, n. 021, 1977.

VISÍVEL, Luz; AMBIENTE, Meio; GIACOMONI, Paolo. O Lado Escuro da Luz Visível.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. Teoría del arco iris. **Investigación y Ciencia**, v. 9, n. 06, p. 82-94, 1977.

ALBERTS, Bruce et al. **Fundamentos da Biologia Celular-4**. Artmed Editora, 2006.

CORSINO, Joaquim. **Bioquímica**. Campo Grande, MS, Ed: UFMS, 2009

NOUAILHETAS, YANNICK et al. Radiações Ionizantes e a vida. **Rio de Janeiro: CNEN**, 2005.

SILVA, Sandro do Nascimento; SILVA, Carlos Roberto Rosa. **Bioquímica**. 2016.

SOLOMONS; GRAHAM, T. W.. Química Orgânica: Volume 1. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. p. 1-616.

FIGUEIREDO, Ana Cristina Marques. **Do interior da célula ao interior da Terra-O ensino do crescimento e renovação celular, meiose e reprodução sexuada e estrutura interna da Terra.** 2019. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra.

"RNA" em *Só Biologia*. Virtuoso Tecnologia da Informação, 2008-2022. Consultado em 03/10/2022.

Disponível em: <https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Citologia2/AcNucleico4.php>

OKAZAKI, Kayo. Efeitos da radiação ionizante em células. Noções básicas. 1995.

RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante **Gabriel Alves Rezende** do Curso de **Licenciatura em Física**, matrícula 2019.1.0018.0008-5, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Câncer e Radiação Eletromagnética**, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 10 de dezembro de 2022.

Assinatura do autor: *Gabriel A. Rezende*

Nome completo do autor: Gabriel Alves Rezende

Assinatura do professor-orientador: *Rodrigues*

Nome completo do professor-orientador: Clóves Gonçalves Rodrigues