PRODUTO EDUCACIONAL: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA SIMPLES DE DETECÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE COM BASE EM UM SENSOR SI-22G, A PLATAFORMA ARDUINO E O AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS NI-LABVIEW

JOEL FERREIRA BARBOSA

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadores:
Dra. Liliana Yolanda Ancalla Davila
Dr. Nilo M. Sotomayor Choque (coorientador)

Araguaína, TO
Fevereiro de 2020

Lista de ilustrações

Figura 1 – Modelo atômico. 13
Figura 2 – Características do núcleo atômico. 15
Figura 3 – Representação de um núcleo instável e outro estável. 18
Figura 4 – Aplicação de isotopo radioativo natural. 19
Figura 5 – Isótopo radioativo artificial fósforo 30. 20
Figura 6 – Radiação α. 21
Figura 7 – Decaimento β. 22
Figura 8 – Características das radiações. 23
Figura 9 – Radiações α, β e γ. 23
Figura 10 – Espectro eletromagnético. 24
Figura 11 – Morangos tratados com radiação. 25
Figura 12 – Aparelho de ressonância eletromagnética. 26
Figura 13 – Fissão nuclear. 27
Figura 14 – Fusão nuclear. 28
Figura 15 – Radiação ionizante e não ionizante. 29
Figura 16 – Raio X. 30
Figura 17 – Natureza dual da luz. 31
Figura 18 – Desintegração radioativa. 32
Figura 19 – Meia-vida de um isotopo radioativo. 33
Figura 20 – Meia-vida de um isotopo radioativo. 34
Figura 21 – Meia-vida de um isotopo radioativo. 34
Figura 22 – Bomba atômica. 36
Figura 23 – Bomba atômica Hiroshima 1945 / Hiroshima Peace Memorial Museum. . . 36
Figura 24 – Bomba atômica em Nagasaki, 1945, o famoso formato de cogumelo. . . . 38
Figura 25 – Cogumelo formado pela bomba lançada em Nagasaki, no dia 9 de agosto de 1945. 39
Figura 26 – Destruição causada pela bomba atômica na cidade de Hiroshima. 39
Figura 27 – Destruição causada pela bomba em Nagasaki. 40
Figura 28 – Usina Nuclear de Chernobyl, na Ucrânia. 42
Figura 29 – Cartaz, mostrando o símbolo da energia nuclear, na área que foi contaminada pelo césio 137. 43
Figura 30 – Acidente Radioativo em Goiânia. 45
Figura 31 – Acidente Radioativo em Goiânia. 46
Figura 32 – Ernest Rutherford. 47
Figura 33 – Marie Curie. 48
Figura 34 – Wilhelm Conrad Röntgen. 49

Figura 35 – Imagem de uma placa Arduino Uno revisão 3 mostrando suas principais partes. 51
Figura 36 – Imagem do site Arduino.cc. 54
Figura 37 – Arquivo instalador do IDE Arduino. Fonte: Elaborada pelo autor. 55
Figura 38 – Ambiente de Desenvolvimento Integrado IDE do Arduino para inserir programas e fazer a interação com a placa Arduino. Fonte: Elaborada pelo autor. 55
Figura 39 – Opções de escolha do tipo de Arduino e porta USB conectada à placa. . . 56
Figura 40 – Software Labview versão 2010 32 bits. 57
Figura 41 – Painel frontal e diagrama de blocos do LabVIEW. 58
Figura 42 – LIFA BASE instalado na plataforma Arduino. 59
Figura 43 – Opções de componentes e exemplos disponibilizados pelo LIFA. 59
Figura 44 – Exemplo de diagrama de bloco construído com auxílio do LIFA. 60
Figura 45 – Painel de controles do labview. 61
Figura 46 – Diagrama de blocos com LIFA. 62
Figura 47 – Amperímetro conectado a camâra de ionização para detectar a corrente gerada por uma fonte radioativa. 63
Figura 48 – Câmara de ionização comercial, vista superior. 64
Figura 49 – Câmara de ionização comercial e eletrodos. vista inferior (interior da câmara). 65
Figura 50 – Eletrodo metálico desmontado da câmara de ionização comercial contendo **Am-241.** 65
Figura 51 – Câmara de ionização construída pelo autor evidenciando seus componentes: uma lata de alumínio, uma base de Teflon, uma haste metálica cromada, um suporte. 67
Figura 52 – Vista lateral da câmara de ionização construída. 67
Figura 53 – Vista do interior da câmara de ionização construída, mostrando o eletrodo central. 68
Figura 54 – Sistema experimental para teste da câmara de ionização construída. É usada uma fonte de tensão variável padrão de laboratório e um eletrômetro Keithley 6514. 69
Figura 55 – Um eletrômetro programável modelo Keithley, uma fonte de tensão programável modelo Agilent, um sistema de interface GPIB 69
Figura 56 – Sistema de aquisição de dados IxV utilizado para as medidas de tensão corrente usando uma câmara de ionização. No diagrama a célula fotovoltaica é substituída pelo sensor de ionização. 70
Figura 57 – Esquema que mostra a implementação de um circuito simples de detecção de eventos de ionização com base em um sensor do tipo Geiger-Müller. . . 73
Figura 58 – Esquema do detector de ionização com alerta visual/sonoro e fonte de alimentação portátil. 73

Figura 59 – O circuito regulador de tensão da figura recebe tensão de 12VDC de uma fonte de computador (representada pelos 12V) para controlar a tensão de entrada no módulo de elevador de tensão (não apresentado nesta figura). A tensão de saída deste regulador está entre 3V e 9V. 74
Figura 60 – Regulador de tensão composto de um transistor TIP 125, um capacitor de 100 μF e resistores. 75
Figura 61 – Fonte de tensão de computador adaptada, foram usados bonners e um interruptor. Para o experimento foi usada a saída de 12 volts e corrente de 10 ampères. 75
Figura 62 – Módulo elevador de tensão do tipo boost step-up. 76
Figura 63 – Esquema do detector de ionização com alerta visual/sonoro e fonte de alimentação portátil. 78
Figura 64 – Esquema do detector de ionização com alerta visual/sonoro alimentado por placa Arduino Uno e circuito boost step-up. 79
Figura 65 – Implementação física do detector de ionização com alerta visual/sonoro alimentado por duas placas Arduino Uno e o módulo boost step-up. 80
Figura 66 – Imagem mostrando o sistema completo. 81
Figura 67 – Esquema que mostra o sistema de detecção de eventos de ionização com aquisição de dados completo. 82
Figura 68 – Código desenvolvido no IDE da plataforma Arduino para leitura dos dados analógicos do sensor Geiger-Muller e subsequente conversão para o formato digital. Os dados digitais são enviados através de comunicação serial para um microcomputador. 83
Figura 69 – Diagrama de blocos do código de aquisição de dados desenvolvido em Labview-LIFA para armazenamento e apresentação gráfica dos dados de tensão, devido a eventos de ionização, em função do tempo. 84
Figura 70 – Painel frontal do aplicativo de aquisição de dados em labview para interação com o usuário. 85
Figura 71 – Apresentação completa do sistema de aquisição de dados em funcionamento. 86
Figura 72 – Imagem do sensor Geiger-Muller modelo SI-22G. 87
Figura 73 – Sistema de detecção de eventos de ionização com aquisição de dados e alimentação de 3,3 VDC pela placa Arduino UNO. 88
Figura 74 – Código em Labview para o sistema de detecção de radiação ionizante com aquisição de dados para contagem e visualização gráfica dos eventos de ionização.. 89
Figura 75 – Sinal de tensão contínuo de 3,3 VDC da saída da placa Arduino Uno rev. 3 mostrada no display do osciloscópio. 90
Figura 76 – Sinal de tensão entre coletor e emissor na presença de eventos de ionização detectados pelo tubo Geiger-Muller conectado à base do transistor TIP-122. 90

Figura 77 – Código desenvolvido no IDE do Arduino para inversão do sinal de tensão entre coletor e emissor do TIP-122. 91
Figura 78 – Tela do serial plotter do IDE da plataforma Arduino mostrando os picos de tensão digitais, devido a radiação de fundo, em função do tempo após o processo de inversão do sentido do sinal. Mostra-se pulsos bem definidos em amplitude sobre um leve entorno de ruído elétrico. 92
Figura 79 – Painel frontal em Labview do aplicativo para apresentação visual dos dados do processo de detecção dos eventos de ionização produzidos no tubo G-M devido à radiação do ambiente. 94
Figura 80 – Painel frontal em Labview do aplicativo para apresentação visual dos dados do processo de detecção dos eventos de ionização produzidos no tubo G-M devido à radiação de (a) parte superior, uma fonte e (b) parte inferior, duas fontes de Am-241 situadas a uma distância de alguns milímetros do sensor G-M. 95

Sumário

1 INTRODUÇÃO 9

2 E-BOOK SOBRE A TEORIA DA RADIOATIVIDADE 11
2.1 Porque estudar Física? 11
2.2 Estrutura da matéria 12
2.3 Modelo atômico 12
2.4 As forças fundamentais da natureza 13
2.5 Força nuclear forte 13
2.6 Força eletromagnética 14
2.7 Força nuclear fraca 14
2.8 Força gravitacional 14
2.9 A física nuclear 15
2.10 Propriedades dos núcleos no estado fundamental 17
2.11 Nuclídeos 17
2.12 Isótopos 17
2.13 Radioatividade 18
2.14 Radioatividade natural ou espontânea 19
2.15 Radioatividade artificial ou induzida 19
2.16 Radiação alfa ou partícula alfa 21
2.17 Radiação beta ou partícula beta 21
2.18 Radiação gama ou raios gama 22
2.19 Características das radiações 23
2.20 Efeitos biológicos da radiação 24
2.21 Aplicações das radiações 25
2.22 Na conservação de Alimentos 25
2.23 Na Medicina 26
2.24 Na produção de energia 26
2.24.1 Fissão nuclear 26
2.24.2 Fusão Nuclear 27
2.24.3 Encontrando Defeitos em Peças Metálicas 28
2.25 Radiação ionizante 28
2.25.1 O que é radiação ionizante? 29
2.26 Os efeitos da radioatividade no corpo humano 29
2.27 O que é Sievert? 31
2.28 Partículas e ondas 31
2.29 Atividade de uma amostra 32

2.30 Meia–Vida . . . 32
2.31 O Amerício – 241 . . . 34
2.32 Características principais . . . 34
2.33 Ocorrência . . . 34
2.34 Aplicações . . . 35
2.35 Contaminação e Irradiação . . . 35
2.36 Bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki . . . 35
2.37 Início da Guerra na Ásia . . . 37
2.38 Conferência de Potsdam e Projeto Manhattan . . . 38
2.39 Lançamento das bombas atômicas sobre Hiroshima e Nagasaki . . . 40
2.40 Acidente da Usina Nuclear de Chernobyl . . . 41
2.41 Acidente nuclear em Fukushima, no Japão . . . 43
2.42 O Acidente Radioativo em Goiânia . . . 44
2.43 Descontaminação . . . 45
2.44 O lixo atômico . . . 45
2.45 Biografia de Ernest Rutherford . . . 46
2.46 Biografia de Marie Curie . . . 47
2.47 Biografia de Wilhelm Conrad Röntgen . . . 49

3 CONSTRUÇÃO DA PARTE EXPERIMENTAL DO PRODUTO EDUCACIONAL . . . 51
3.1 Hadware e Software empregado . . . 51
3.1.1 A Placa Arduino Uno Rev. 3 . . . 51
3.2 O Ambiente de Desenvolvimento Integrado do Arduino IDE . . . 53
3.2.1 Como baixar e instalar . . . 54
3.3 Conexão entre o IDE e placa Arduino Uno . . . 56
3.4 Comandos básicos e exemplos de códigos . . . 56
3.5 O Ambiente de Desenvolvimento de sistemas e linguagem de programação gráfica Labview . . . 56
3.6 Interface Labview para Arduino (LIFA) . . . 58

4 OS SISTEMAS DE DETECÇÃO DE RADIAÇÃO IONIZANTE . . . 63
4.1 Câmara de Ionização . . . 63
4.1.1 Confecção da câmara de ionização . . . 63
4.1.2 Câmara de ionização com fonte de tensão variável . . . 68
4.1.3 Câmara de ionização com sistema de aquisição de dados . . . 69

5 O DETECTOR COM BASE NO SENSOR GEIGER-MÜLLER SI-22G 71
5.1 Materiais . . . 71
5.2 Idealização do sistema de detecção . . . 72
5.2.1 Sistema de detecção com alerta visual e sonoro . . . 72

5.2.2 Detector com fonte de laboratório 72
5.2.3 Detector com módulo elevador de tensão 73
5.2.4 Detector com tensão do Arduino e do módulo elevador 77

6 O DETECTOR COM AQUISIÇÃO DE DADOS 82
6.1 Concepção do sistema 82
6.2 Sistema de detecção de eventos de ionização com aquisição de dados usando apenas o Labview 2010 86

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 96

REFERÊNCIAS 97

1 Introdução

O presente documento descreve o Produto Educacional Didático, construído no curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), sob a orientação da Profa. Dra. Liliana Yolanda Ancalla Davila e co-orientação do Prof. Dr. Nilo Mauricio Sotomayor Choque no Polo 61 da Universidade Federal do Tocantins. O produto educacional foi desenvolvido para auxiliar o professor e despertar o interesse dos Alunos do Ensino Médio no estudo das radiações ionizantes, enriquecendo as aulas teóricas através das práticas experimentais. Este Produto Educacional Didático tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento do processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos de radioatividade, em que o professor poderá utilizar como base pedagógica a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

Este Produto Educacional é constituído de material didático com experimentos; um e-book sobre a teoria da radioatividade, um sistema de detecção de radiações ionizantes composto por uma simples câmara de ionização e um contador de radiação Geiger Müller. O produto envolve também o uso da Plataforma Arduino e do Ambiente de Sistemas Labview. O conteúdo radioatividade aparece nos últimos capítulos dos livros didáticos de física da terceira série do Ensino Médio e na maioria das escolas não é trabalhado com os alunos, apesar de ser cobrado nos vestibulares.

A radioatividade é de fundamental importância para os seres humanos, porém a informação sobre o tema, geralmente, está limitada à comunidade científica como médicos, físicos, químicos e técnicos em radiologia que trabalham diretamente com a radioatividade. Outro motivo que nos leva a explorar o estudo da radioatividade é mostrar que a mesma quando usada de forma adequada não representa perigo e tem aplicação relevante na produção de energia, na conservação dos alimentos que chegam às nossas casas e na medicina, uma vez que é usada para diagnosticar fraturas através de raios X, e no tratamento do câncer tendo como base a quimioterapia, radioterapia, etc. Outra razão para estudar este tópico consiste em informar, de maneira adequada, a sociedade sobre a polêmica que envolve os acidentes radioativos como por exemplo Goiânia e Fukushima e a utilização da energia nuclear. Portanto, uma análise adequada destes assuntos requer conhecimentos básicos fundamentais dos fenômenos radioativos, de seus benefícios e malefícios.

Na educação, no nível médio e superior, o estudo experimental de radiações ionizantes é limitado pela pouca ou nula disponibilidade de instrumentos de detecção/medição e o potencial perigo de se trabalhar com fontes radioativas ou outras emissões altamente energéticas. Outra desvantagem é o custo elevado destes sistemas de detecção e medição além de que alguns componentes do aparelho de detecção são considerados produtos estratégicos e não são exportados para o Brasil.

Contudo, o atual grau de desenvolvimento de novas tecnologias de informação e de

comunicação (tics) juntamente com a crescente disponibilidade e popularização de plataformas eletrônicas de acesso aberto com base em microcontroladores (tais como Arduino, Raspberry Pi, Beagleboard, etc.), assim como a crescente disponibilidade de diversos tipos de sensores, módulos e sistemas eletrônicos compatíveis, possibilitam a construção de sistemas de detecção e quantificação da radiação ionizante através de projetos de relativa simplicidade denominados frequentemente de "faça você mesmo" (do inglês "do it yourself" DiY).

Neste produto educacional descreve-se a construção e teste de um sistema de detecção e outro de quantificação de eventos produzidos por radiações ionizantes do tipo DiY com base em um sensor Geiger-Muller (Si-22G) de fabricação russa, alguns componentes eletrônicos, a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino e o Ambiente de desenvolvimento e plataforma de desenho de sistemas Labview.

Como fonte de radiação ionizante, para testar o sistema de detecção, foi empregado o radioisótopo Am-241 frequentemente encontrado em sensores de eventos de ionização e camisas de rayon para lampião contendo nitrato de tório radioativo. O sistema de instrumentação pode ser usado para apoiar e consolidar o ensino/aprendizagem sobre radiações ionizantes em laboratórios didáticos de Física ou outras áreas que trabalham com sistemas que emitem radiações ionizantes.

O produto educacional foi aplicado numa turma de 3ª série do ensino médio do Centro de Ensino Médio Paulo Freire de Araguaína. No laboratório de informática da escola foram apresentados dois vídeos e um link da internet para explorar o e-book informativo sobre a radioatividade. Finalmente, foi apresentado aos alunos a câmara de ionização e o sistema de detecção de radiação para a verificação da presença da radiação, emitida pela fonte radioativa, através de sinais sonoro/visual emitidos por um buzer e um led.

2 E-book sobre a teoria da radioatividade

2.1 Porque estudar Física?

Essa é uma pergunta que talvez você já tenha se feito em algum momento de sua vida escolar. Quem sabe, nesse exato momento, enquanto este e-book está em sua tela, essa pergunta esteja martelando sua cabeça.

Na Grécia Antiga o termo física compreendia o estudo dos fenômenos que ocorrem na natureza de maneira geral. Para os gregos daquela época, o fato de um corpo cair era tão intrigante quanto o crescimento de uma planta ou a fermentação do vinho. Todos esses fenômenos eram abordados por um ramo do pensamento chamado de "ciência das coisas naturais", em grego physiké, originando a palavra physica em latim.

Com a divisão das ciências naturais, nasceram a Química, a Biologia e a própria Física, tal como a entendemos hoje, que procura descrever, prever e justificar por leis muito simples os fenômenos que acontecem com a matéria. É evidente que essa forma de definir a Física não é totalmente precisa, uma vez que a descrição completa deveria detalhar todos os objetos de estudo da Física.

Assim como acontece com as outras ciências, a Física utiliza em sua abordagem dos fenômenos o método científico, partindo de hipóteses que se confirmam ou não através da experimentação.

Muitas pessoas não vivem sem a tecnologia, porém não tem nenhum interesse em conhecer a ciência que está por trás dela. A Física está presente em tudo na vida do ser humano e é no mínimo estranho fechar os olhos a esse conhecimento. O computador quântico e a internet quântica estão batendo às nossas portas, mas nada disso seria possível se grandes cientistas não tivessem passado muitas noites em claro, para nos proporcionar o conforto e a tecnologia que temos hoje. E sem a Física nada disso seria possível.

Quando falamos em energia nuclear, a primeira coisa que nos vem à mente é algo como bombas atômicas ou armas nucleares. Muitas pessoas fazem a triste associação da radioatividade apenas a aspectos negativos, mas a energia nuclear é mais do que isso. Através desse e-book você conhecerá alguns pontos positivos da radioatividade em nossa vida, como por exemplo, a aplicação na medicina, na conservação de alimentos, na datação de rochas, fósseis, etc [2].

2.2 Estrutura da matéria

A idéia de que a matéria é composta de pequenas partículas, ou átomos, foi proposta pela primeira vez pelo filósofo grego Demócrito (que viveu entre aproximadamente 470 a.C e 380 a.C., também afirmou que a Via Láctea era um vasto aglomerado de estrelas e que a Lua, como a Terra, possuía montanhas e vales) e seu mestre Leucipo, por volta de 450 a.C. Entretanto, até o século XVII não houve tentativas sérias de confirmar esta especulação através de observações experimentais. Pierre Gassendi, na metade do século XVII e Robert Hooke, alguns anos mais tarde, tentaram explicar os estados da matéria e as transformações entre esses estados usando um modelo segundo o qual a matéria era composta por objetos sólidos indestrutíveis, de pequenas dimensões, que estavam em movimento constante. Entretanto, foi a hipótese de Avogadro, formulada em 1811, de que todos os gases a uma dada temperatura contêm o mesmo número de moléculas por unidade de volume, que levou à interpretação correta das reações químicas e mais tarde, por volta de 1900, à teoria cinética dos gases. Além disso, permitiu explicar quantitativamente muitas das propriedades da matéria e levou a uma aceitação geral (embora não unânime) da teoria molecular da matéria. Assim, ficou estabelecido que a matéria não é contínua, como parece à primeira vista, e sim quantizada, isto é, formada por partículas distintas. O fato de a matéria ser contínua foi atribuído ao pequeno tamanho dessas partículas.

Tudo na natureza é constituído de átomos ou suas combinações. O número de prótons ou número atômico identifica um elemento químico, determinando assim seu comportamento em relação aos outros elementos.

Praticamente todos os átomos que formam o universo são estáveis, ou seja, não sofrem nenhuma mudança durante bilhões de anos. Os átomos se unem para formar moléculas e sólidos, portanto combinam-se entre si.

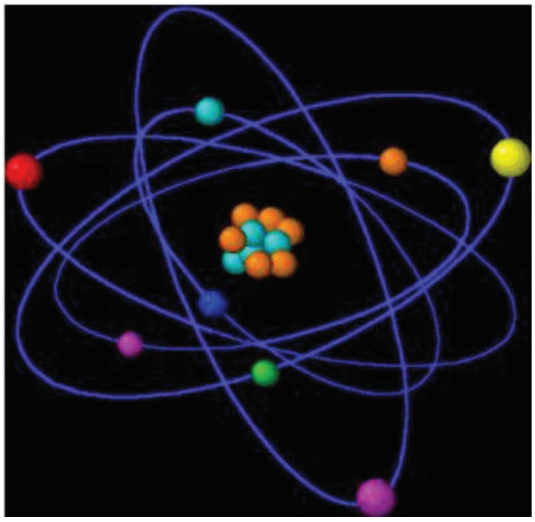
Os átomos podem emitir ou absorver luz. Quando um átomo sofre transição de um estado para outro emitindo luz, ele passa para um nível de menor energia e quando absorve luz, passa para um nível de maior energia. A luz é emitida ou absorvida na forma de um fóton.

2.3 Modelo atômico

No final do século XIX, os cientistas sabiam que o átomo tinha um diâmetro da ordem de 10^{-10} m, era eletricamente neutro e continha elétrons, partículas muito mais leves que o átomo como um todo; o problema era encontrar um modelo.

Um modelo atômico é todo modelo científico que se usa para explicar os átomos e seus comportamentos. O modelo atômico de Rutherford (planetário) ainda é muito utilizado por ser visualmente simples e prático, uma vez que os modelos atuais são bastante complexos para explicar alguns fenômenos da natureza. Atualmente, o modelo aceito para definir a estrutura atômica é o modelo da mecânica quântica.

Figura 1 – Modelo atômico.



Fonte: Blog Evidência Integradora.

No modelo atômico de Rutheford, a estrutura do átomo se assemelha ao nosso sistema solar, ao qual podemos comparar o núcleo do átomo com o sol e os elétrons aos planetas. Assim como o sistema solar, o átomo apresenta "grandes" espaços vazios, que podem ser atravessados por partículas menores que ele, mesmo assim podemos pisar no chão (que é feito de átomos) com a certeza de que nosso pé não vai atravessá-lo.

A estrutura atômica é composta por três partículas fundamentais: prótons (com carga positiva), nêutrons (partículas neutras) e elétrons (com carga negativa).

No núcleo de um átomo estão os prótons e os nêutrons e em torno desse núcleo, estão os elétrons. Cada núcleo de um determinado elemento químico tem o mesmo número de prótons. Esse número define o número atômico de um elemento e determina sua posição na tabela periódica.

2.4 As forças fundamentais da natureza

Desde a década de 1960, os cientistas sabem que em todos os fenômenos físicos estão envolvidos apenas quatro tipos de interações fundamentais representadas por quatro diferentes forças: a força gravitacional, a força eletromagnética, a força nuclear forte e a força nuclear fraca. No mundo macroscópico, as duas primeiras são as mais importantes, pois as forças nucleares, tem alcance muito curto, da ordem das dimensões dos núcleos atômicos.

2.5 Força nuclear forte

A força nuclear forte é a que mantém a coesão do núcleo atômico, além de garantir a união dos quarks que formam os prótons e os nêutrons. A força nuclear forte é a mais

intensa das quatro forças fundamentais. Sua intensidade é 1038 vezes a intensidade da força gravitacional, a mais fraca das quatro. Entretanto, sua ação só se manifesta em distâncias muito pequenas, comparáveis às dimensões do núcleo atômico $(10^{-15}m)$. A intensidade da força nuclear forte diminui rapidamente quando há separação entre as partículas, praticamente se anulando quando a distância assume valores de alguns diâmetros nucleares.

Essa força também é denominada força hadrônica, porque só se manifesta entre os hádrons, grupo de partículas do qual fazem parte os nêutrons e os prótons, mas não os elétrons, que, ao que tudo indica, são partículas fundamentais.

2.6 Força eletromagnética

A força eletromagnética é a que se manifesta entre partículas com carga elétrica, englobando as forças elétricas e as forças magnéticas. A ligação entre os elétrons e os núcleos atômicos e a união de átomos para a formação das moléculas são explicadas pela ação da força eletromagnética. Sua intensidade é, em média, 10^{-2} vezes a intensidade da força nuclear forte.

2.7 Força nuclear fraca

Entre os léptons (grupo de partículas do qual faz parte o elétron) e os hádrons, atuando em escala nuclear, desenvolve-se a denominada força nuclear fraca. Sua intensidade é 1025 vezes a intensidade da força gravitacional, mas 1013 vezes menos intensa que a força nuclear forte. Ela é responsável, por exemplo, pelo decaimento beta. Nesse processo, que ocorre em núcleos instáveis de algumas substâncias radioativas, um nêutron se desintegra transformando-se em um próton (que permanece no núcleo) e são emitidos um elétron e seu antineutrino, que será discutido nas próximas páginas.

Atualmente, grande parte dos cientistas admite que a força nuclear fraca e a força eletromagnética são manifestações diferentes de uma mesma interação fundamental, chamando-as de força eletrofraca. Esse é o primeiro passo para a unificação completa das quatro forças fundamentais, entendendo-as como manifestações de uma única superforça.

2.8 Força gravitacional

A força de atração entre massas é a força gravitacional. É a menos intensa das quatro. Por exemplo, se considerarmos a força gravitacional entre dois prótons no núcleo de um átomo, ela é, aproximadamente, 1036 vezes menos intensa do que a correspondente força de repulsão elétrica entre essas partículas. Apesar de ser pequena em relação às outras, a intensidade da força gravitacional pode assumir valores elevados, pois é proporcional às massas que interagem e, geralmente, os astros têm massas elevadas. Por isso a força gravitacional tem

grande importância na astronomia e na cosmologia, explicando a movimentação dos astros no universo, bem como a formação de estrelas, galáxias e sistemas planetários [1].

2.9 A física nuclear

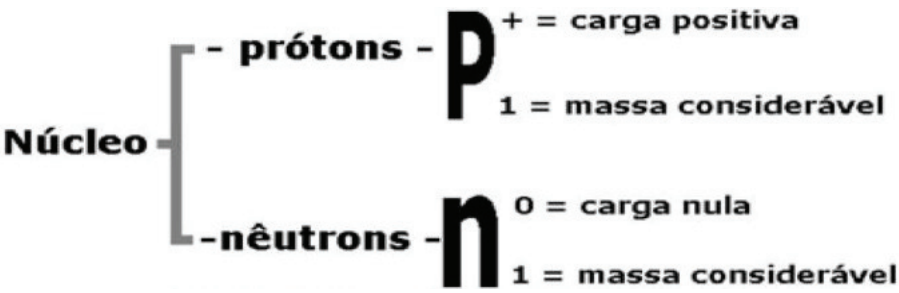
A primeira indicação da existência do núcleo atômico foi a radioatividade natural, descoberta por A. H. Becquerel em 1896. Depois de tornar conhecimento da existência dos raios X, que tinham sido observados por Roentgen no ano anterior, Becquerel estava investigando a possibilidade de que os minerais que se tornavam fluorescentes depois de serem expostos à luz solar também emitissem raios X. Para isso, ele utilizava a técnica simples de colocar uma amostra de um desses materiais, o sulfato duplo de urânio e potássio, em cima de uma placa fotográfica embrulhada em papel preto e expor o conjunto à luz solar no peitoril de uma janela. Nos primeiros experimentos, uma imagem da amostra apareceu na placa revelada, o que sugeria que o material realmente estava emitindo raios X. Durante um período de tempo nublado, porém, uma amostra que teria sido guardada numa gaveta, sem ser exposta à luz, também impressionou uma chapa fotográfica, o que levou Becquerel a concluir que o material estava emitindo, espontaneamente, uma radiação penetrante até então desconhecida; o cientista acabara de descobrir a radioatividade.

O núcleo do átomo é uma região maciça, compacta e densa que fica no centro do átomo e é constituído de prótons, dotados de cargas positivas, e nêutrons, que não manifestam cargas elétricas.

O número de prótons do núcleo, também conhecido como número atômico, é representado pela letra Z; o número de nêutrons é representado pela letra N e a soma do número de prótons e do número de nêutrons é conhecida como número de massa e é representada pela letra A.

O elemento químico natural mais simples, o hidrogênio, possui apenas um próton em seu núcleo, porém o número de nêutrons pode ser variável e essa quantidade de nêutrons define diferentes isótopos. Um outro exemplo é o urânio que tem 92 prótons, mas apresenta os isótopos U – 234, U – 235 e U – 238, com 142, 143 e 146 nêutrons respectivamente.

Figura 2 – Características do núcleo atômico.



Fonte: Autor.

Os prótons são partículas carregadas positivamente com carga relativa igual a $+1$. Sua massa relativa também é 1. O número de prótons existente no núcleo é chamado de número atômico (Z) e é o responsável pela diferenciação de um elemento químico de outro, ou seja, cada elemento químico pode-se apresentar por um conjunto de átomos que possui o mesmo número atômico ou a mesma quantidade de prótons.

Os nêutrons como o próprio nome diz, são partículas neutras, isto é, não possuem carga elétrica. Assim, os nêutrons diminuem a força de repulsão entre os prótons no núcleo (tendo em vista que cargas de mesmos sinais se repelem).

As partículas subatômicas possuem a massa relativa praticamente igual à dos prótons, isto é, 1. Mas, na realidade, a massa do nêutron é um pouco maior que a do próton. Isso é interessante porque, se fosse o contrário, isto é, se os prótons fossem ligeiramente mais pesados do que os nêutrons, todos os prótons seriam transformados em nêutrons. O resultado seria que, sem os prótons, os átomos não existiriam.

A eletrosfera é uma região periférica ao redor do átomo onde os elétrons ficam girando em volta do núcleo. Os elétrons foram as primeiras partículas subatômicas descobertas (no ano de 1897, por J. J. Thomson). São partículas carregadas negativamente, cuja carga relativa é de -1. Sua carga elétrica elementar é igual em módulo à carga elétrica do próton, sendo positiva a carga do próton e negativa a carga do elétron. Apesar de os elétrons serem negativos, o átomo no estado fundamental é neutro, pois ele possui a mesma quantidade de elétrons e de prótons. Isso significa que as cargas negativas dos elétrons compensavam as cargas positivas dos prótons, assim, o átomo fica neutro. Quando os átomos realizam ligações químicas para formar as substâncias simples e compostas, isso ocorre com os elétrons. Numa visão clássica, há então uma transferência ou um compartilhamento de elétrons entre dois ou mais átomos.

Os raios emitidos pelos núcleos radioativos foram estudados por muitos Físicos nas primeiras décadas do século XX. Inicialmente, foram classificados por Rutherford como α, β e γ, de acordo com a capacidade de penetrar na matéria e ionizar o ar. Os raios α eram os menos penetrantes e que produziam mais ionização; os raios γ eram os mais penetrantes e os que produziam menos ionização e os raios β por sua vez eram intermediários. Logo foi descoberto por Rutherford que os raios α eram núcleos de Helio 4He. Também foi descoberto que os raios β eram elétrons e os raios γ eram uma forma de radiação eletromagnética de comprimento de onda muito pequeno.

Em 1928, a explicação correta da radioatividade α como um fenômeno quântico de tunelamento foi proposta por G. Gamow, R. W. Gurney e E. W. Condon. Em seguida em rápida sucessão, em 1932, o nêutron foi descoberto por J. Chadwick, o pósitron foi descoberto por C. D. Anderson e a primeira reação nuclear usando partículas aceleradas artificialmente (prótons) foi observada por J. D. Cockcroft e E. T. S. Walton. Assim é razoável considerar esse ano como o do início da Física nuclear moderna.

2.10 Propriedades dos núcleos no estado fundamental

O comportamento dos núcleos, assim como o comportamento dos átomos, só pode ser compreendido à luz dos princípios da Física quântica. Foi o estudo dos espectros nucleares, ou seja, das radiações e partículas emitidas espontaneamente pelos núcleos radioativos, que revelou a existência de níveis de energia, momentos angulares e momentos magnéticos quantizados nos núcleos, assim como as regularidades dos espectros atômicos tinham levado à teoria de Bohr e, mais tarde, à mecânica ondulatória.

2.11 Nuclídeos

Nuclídeo (do latim: nucleus, "núcleo") é uma espécie atómica caracterizada pelo número de protões, neutrões e estado energético do núcleo (quando observável). As partículas que compõem o núcleo são chamadas por sua vez de nucleões.

Os termos “isótopo” e “nuclídeo” se assemelham em alguns aspectos, pois os átomos de um nuclídeo pertencem ao mesmo isótopo de um elemento químico. A única diferença é que um isótopo confere a pertinência a um elemento químico enquanto o nuclídeo descreve a natureza ou composição física do núcleo.

A existência do nuclídeo em um determinado estado de energia requer que este tenha uma meia-vida longa o suficiente para que este seja observado.

Observa-se que núcleos atómicos com mais de 20 protões somente serão estáveis se possuírem um excedente em neutrões.

Nuclídeos que compartilham o mesmo número de massa são chamados de isóbaros e nuclídeos que compartilham o mesmo número de neutrões são chamados de isótonos.

Isômeros são nuclídeos que possuem núcleos com a mesma carga e o mesmo número de massa em estados internos diferentes. Nuclídeos instáveis são radioativos e chamados de radionuclídeos.

Na Natureza são conhecidos 256 nuclídeos estáveis e cerca de 80 radionuclídeos. É possível também produzir milhares de outros nuclídeos radioativos artificialmente.

2.12 Isótopos

Isótopos são variantes de um elemento químico. Enquanto todos os isótopos de um dado elemento compartilham o mesmo número de prótons, cada isótopo difere dos outros em seu número de nêutrons. Assim: "o mesmo lugar", significando que diferentes isótopos de um único elemento ocupam a mesma posição na tabela periódica. O número de prótons dentro do núcleo do átomo identifica unicamente um elemento, mas um determinado elemento pode, em princípio, ter qualquer número de nêutrons.

Ex.: O átomo de hidrogênio possui três formas de isótopos: o prótio (1 próton sem nêutron) o deutério (1 próton e 1 nêutron) e o trítio (1 próton e 2 nêutrons). O carbono-12, carbono-13 e carbono-14 são três isótopos do elemento carbono com os números de massa 12, 13 e 14, respectivamente. O número atômico do carbono é 6 (igual ao número de prótons no núcleo), o que significa que cada átomo de carbono tem 6 prótons, de modo que os números de nêutrons destes isótopos são 6, 7 e 8, respectivamente.

Na nomenclatura científica, os isótopos são designados pelo nome do elemento seguido por um hífen e pelo número de núcleons (prótons e nêutrons) no núcleo atómico (Ex: ferro-57, urânio-238, hélio-3). Na forma simbólica, o número de núcleons é escrito como um prefixo subido do símbolo químico (Ex: ^{57}Fe, ^{238}U, ^{3}He). Existem 339 isótopos naturais na Terra. E mais de 3100 são conhecidos.

2.13 Radioatividade

A radioatividade é um fenômeno natural ou artificial, pelo qual algumas substâncias ou elementos químicos, chamados radioativos, são capazes de emitir radiações, às quais tem a propriedade de impressionar placas fotográficas, ionizar gases, produzir fluorescência e atravessar corpos opacos à luz.

Um núcleo muito energético, ou seja, apresenta excesso de partículas ou carga, tende a estabilizar-se, para isso, emite algumas partículas. O urânio assim como o rádio e o polônio que tem massas próximas são chamados de elementos radioativos.

Figura 3 – Representação de um núcleo instável e outro estável.

Fonte: querobolsas.com.br.

As radiações emitidas pelas substâncias radioativas são principalmente partículas alfa, partículas beta e raios gama (raios x). A radioatividade é uma forma de energia nuclear, usada em medicina (radioterapia), e consiste no fato de alguns átomos como os do urânio, rádio e tório serem "instáveis".

Dos mais de 3000 nuclídeos conhecidos, apenas 266 são estáveis. Todos os outros são radioativos, ou seja, se transformam espontaneamente em outros nuclídeos emitindo radiação. Neste contexto, o termo radiação se refere tanto a partículas quanto a ondas eletromagnéticas. Em 1900, Rutherford descobriu que a taxa de emissão de radiação não era constante, mas diminuía com o tempo de forma exponencial. Essa variação exponencial com o tempo é característica dos fenômenos que envolvem a radioatividade e indica que se trata de um processo estatístico. Como os nuclídeos estão bem isolados uns dos outros pelos elétrons atômicos, as variações de pressão e temperatura não tem nenhum efeito sobre a radioatividade.

2.14 Radioatividade natural ou espontânea

É a que se manifesta nos elementos radioativos e nos isótopos que se encontram na natureza.

Exemplos:

- urânio, polônio e o rádio.
- Uma aplicação importante de um isótopo radioativo natural é o método que utiliza o carbono 14 para determinar com certa precisão a idade de fósseis animais e vegetais, e até mesmo de objetos que sejam subprodutos de um ser vivo.

Figura 4 – Aplicação de isotopo radioativo natural.

Fonte: alunosonline.com.br.

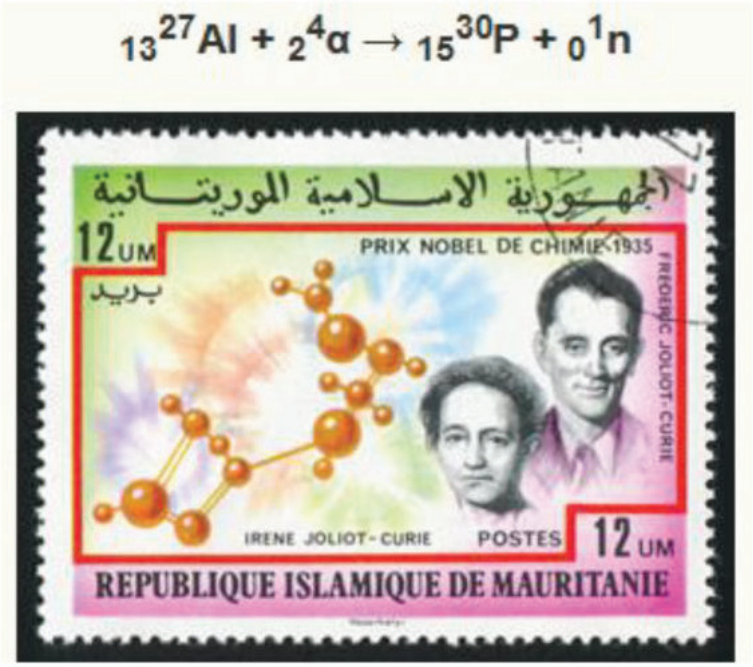
2.15 Radioatividade artificial ou induzida

É aquela que é provocada por transformações nucleares artificiais. Produz-se a radioatividade induzida quando se bombardeiam certos núcleos com partículas apropriadas. Se a energia destas partículas tem um valor adequado, elas penetram no núcleo bombardeado formando um novo núcleo que, no caso de ser instável, se desintegra posteriormente. Foi realizado pela primeira vez pelo físico neozelandês Ernest Rutherford, ao bombardear átomos de nitrogênio, com partículas alfas, obtendo oxigênio. Sendo estudada pelo casal "Joliot-Curie" (Frédéric

Joliot e IrèneJoliot-Curie), bombardeando núcleos de boro e alumínio com partículas alfa, eles observaram que as substâncias bombardeadas emitiam radiações após retirar o corpo radioativo emissor das partículas alfa. O estudo da radioatividade permitiu um maior conhecimento da estrutura dos núcleos atômicos e das partículas subatômicas. Abriu-se a possibilidade da transmutação dos elementos, ou seja, a transformação de elementos em elementos diferentes. Inclusive o sonho dos alquimistas de transformar outros elementos em ouro se tornou realidade, mesmo que o processo economicamente não seja rentável [21].

Exemplos: O primeiro isótopo radioativo artificial foi produzido pelo casal de pesquisadores franceses Jean Frédéric Joliot-Curie (1900-1958) e Irène-Curie (1897-1956) – filha de Marie Curie. Como se pode ver abaixo, eles bombardearam uma placa de alumínio 27 com partículas alfa e obtiveram o isótopo radioativo artificial fósforo 30:

Figura 5 – Isótopo radioativo artificial fósforo 30.



Fonte: app.emaze.com.

Os radioisótopos artificiais atualmente são utilizados em larga escala na medicina nuclear, principalmente em exames que mapeiam os órgãos, pois eles têm a capacidade de se acumular em determinados tecidos. Eles são chamados de radiotraçadores. Os radioisótopos também são utilizados em tratamentos, como é o caso do iodo-131, que é usado em terapia contra o câncer de tireoide, pois ele se acumula nesse órgão e sua radiação gama destrói as células doentes.

2.16 Radiação alfa ou partícula alfa

Quando um núcleo pesado emite partículas constituídas de dois prótons e dois nêutrons para se estabilizar, dá-se o nome de radiação alfa ou partícula alfa.

A emissão alfa, desintegração alfa ou decaimento alfa é uma forma de decaimento radioativo que ocorre quando um núcleo atômico instável emite uma partícula alfa transformando-se em outro núcleo atômico com número atômico duas unidades menor e número de massa 4 unidades menor. A emissão alfa, portanto, é composta da mesma estrutura de núcleos do átomo de hélio, como já mencionado. Uma emissão alfa é igual a um núcleo de hélio, que por sua vez, contém em seu interior dois prótons e dois nêutrons e a diferença entre a emissão alfa e o átomo de hélio é que na emissão alfa ela tem dois elétrons retirados da eletrosfera. Portanto, a partícula alfa tem carga positiva $+2$ (em unidades atômicas de carga) e 4 unidades de massa atômica.

Figura 6 – Radiação α.

Fonte: especialistas.aprendebrasil.com.br.

Um exemplo de radiação alfa são os detectores de fumaça que são dotados de uma fonte radioativa de baixa atividade, e um sistema de detecção que produz um sinal elétrico. Na presença de fumaça, atingindo um nível pré-estabelecido, ele pode iniciar um sinal de alarme ou mesmo disparar um sistema com spray de água. O risco associado a este tipo de medidor é mínimo.

2.17 Radiação beta ou partícula beta

Quando existe no núcleo excesso de nêutrons em relação a prótons, um nêutron se converte em próton e o átomo emite uma partícula negativa que é um elétron para estabilizar-se. É a partícula beta negativa ou simplesmente partícula beta. No caso de existir excesso de

prótons, o átomo emite uma partícula beta positiva resultante de uma conversão de um próton em um nêutron. Essa partícula é chamada de pósitron.

A radiação beta é uma forma de radiação ionizante emitida por certos tipos de núcleos radiativos. Como exemplos podem ser citados potássio-40, carbono-14, iodo-132, bário-126 entre outros. O decaimento beta é amplamente utilizado na medicina em fontes de braquiterapia para o tratamento de câncer e diagnósticos médicos.

Esta radiação ocorre na forma de partículas beta (β), que são elétrons de alta energia ou pósitrons emitidos de núcleos atômicos num processo conhecido como decaimento beta. Existem duas formas de decaimento beta, β^- e β^+.

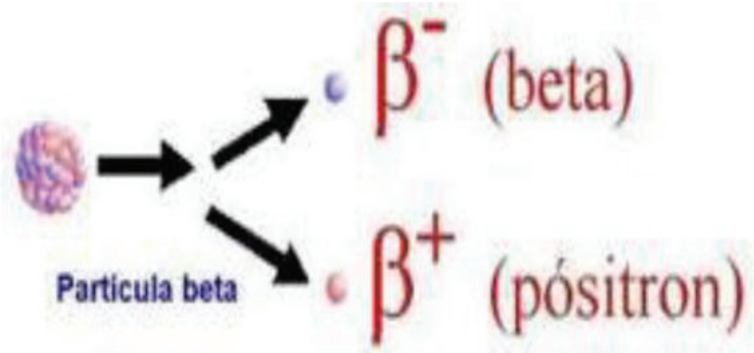
No decaimento β^-, um nêutron é convertido num próton, com emissão de um elétron e de um antineutrino de elétron (a antipartícula do neutrino):

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e \tag{2.1}$$

No decaimento β^+, um próton é convertido num nêutron, com a emissão de um pósitron, e de um neutrino de elétron:

$$energia + p \rightarrow n + e^+ + \nu_e \tag{2.2}$$

Figura 7 – Decaimento β.



Fonte: fisicamedica.webnode.com.br.

2.18 Radiação gama ou raios gama

Quando o núcleo emite partículas, alfa ou beta, e ainda fica energia em excesso, para estabilizar-se o mesmo emite radiação gama, em forma de onda eletromagnética da mesma natureza da luz.

A radiação eletromagnética é produzida geralmente por elementos radioativos.

As explosões cósmicas de raios gama são os fenômenos que emitem a maior quantidade de energia por unidade de tempo no universo.

Ao emitir uma radiação gama um núcleo não sofre alteração de massa nem de número atômico. Raios gama não possuem massa, são extremamente energéticos, tem alto poder de ionização e são muito penetrantes.

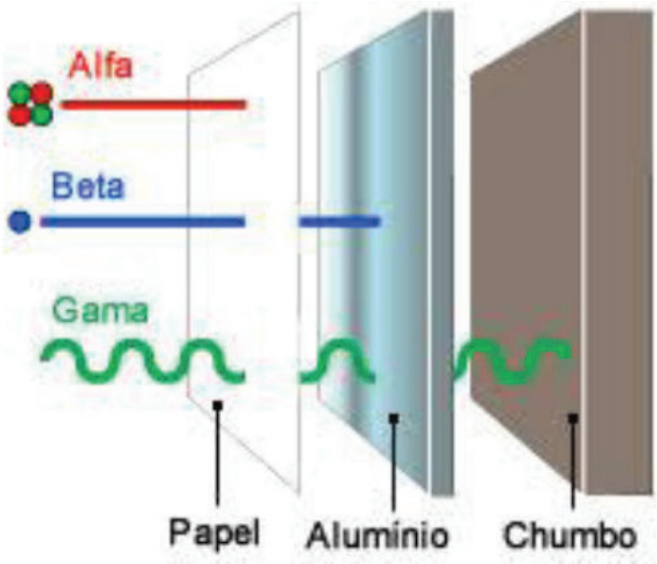
2.19 Características das radiações

Figura 8 – Características das radiações.

Radiação	Alfa	Beta	Gama
Poder de Ionização	Alto. A partícula alfa captura 2 elétrons do meio, se transformando em átomo de hélio.	Médio. Por possuirem carga elétrica menor possuem menor poder de ionização.	Pequeno. Não possuem carga.
Danos ao ser humano	Pequenos. São detidos pela camada de células mortas da pele, podendo no máximo causar queimaduras.	Médio. Podem penetrar até 2 cm e ionizar moléculas gerando radicais livres.	Alto. Pode atravessar completamente o corpo humano, causando danos irreparáveis como alteração na estrutura do DNA.
Velocidade	5% da velocidade da luz	95% da velocidade da luz	Igual a velocidade da luz 300000 Km/s
Poder de Penetração	Pequeno. Uma folha de papel pode deter.	Médio. É 50 a 100 vezes mais penetrantes que a alfa. São detidas por uma chapa de chumbo de 2 mm.	Alto. Os raios Gama são mais penetrantes que os raios x. São detidos por uma chapa de chumbo de 5 cm.

Fonte: Renan Bardine.

Figura 9 – Radiações α, β e γ.



Fonte: infoescola.com.

2.20 Efeitos biológicos da radiação

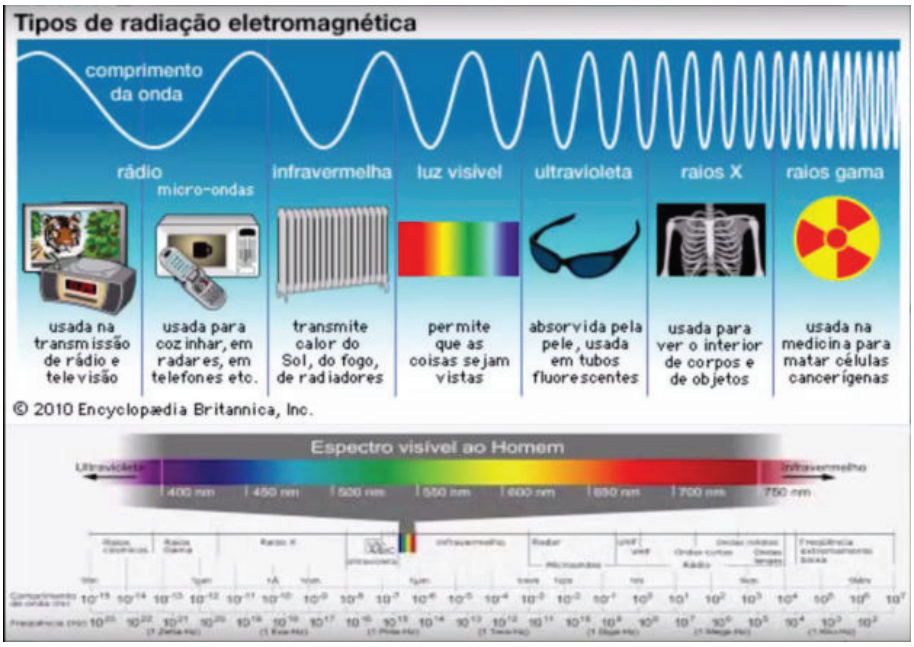
Quando exposto a radiação ionizante, o corpo humano é afetado, sofrendo alterações até mesmo no DNA das células. A radiação tem a capacidade de alterar a característica físico-química das células. As mais afetadas são as células com alta taxa de proliferação, como as reprodutivas e as da medula, que são mais radiossensíveis.

Raios gama apresentam maior comprimento de onda, alta freqüência e maior energia por fóton (em comparação com os raios – X).

Os efeitos biológicos da radiação se devem principalmente à ionização. Mesmo uma quantidade pequena de ionização pode prejudicar seriamente o funcionamento de uma célula ou mesmo matá-la. Três unidades diferentes são usadas para medir o efeito da radiação sobre os organismos vivos: o Roentgen, a rad e o rem.

O Roentgen (R) é definido como a quantidade de radiação que produz $1/3.10^{-9}$ C de carga elétrica (íons positivos ou elétrons) em 1 cm^3 de ar seco nas CNTP. Trata-se de uma medida de exposição a radiação. O Roentgen foi praticamente substituído pelo rad (dose de radiação absorvida), definido como a quantidade de radiação que deposita 10^{-2} J/kg de energia em um material. A unidade de medida no SI é o gray (Gy), definido como a quantidade de radiação que deposita 1 J/Kg em um material. Como 1R de radiação deposita cerca de $8{,}7.10^{-3}$ J/kg de energia, o rad e o roentgen são unidades de mesma ordem de grandeza. 1R $= 10^{-2}$ Gy.

Figura 10 – Espectro eletromagnético.



Fonte: <https://escola.britannica.com.br/artigo/radia%C3%A7%C3%A3o/482323>.

2.21 Aplicações das radiações

As aplicações mais importantes das reações e as interações nucleares estão sem dúvidas na medicina, especialmente no campo do diagnóstico, mas também no tratamento do câncer e de outras doenças. A disponibilidade de detectores mais sensíveis e computadores mais potentes certamente contribuiu para o grande progresso observado nos últimos anos na medicina nuclear. Também importante para um largo espectro de disciplinas, desde a arte até a química, passando pela geologia e a zoologia, é uma técnica analítica extremamente precisa conhecida como análise por ativação de nêutrons. Antropólogos, arqueológicos e geólogos recorrem rotineiramente às propriedades de decaimento de certos radioisótopos para determinar a idade de fósseis, artefatos e rochas [12].

2.22 Na conservação de Alimentos

Os alimentos produzidos em larga escala em certas regiões precisam ser conservados, armazenados e transportados para chegar a outras regiões. Quando irradiados, esses alimentos são conservados por mais tempo, pois retarda o amadurecimento, elimina bactérias e evita a germinação. A radiação usada provém do cobalto–60 ou césio 137.

Apesar de uma patente para o uso de radiação em alimentos ter sido publicada em 1929, foi somente após a Segunda Guerra Mundial que esta tecnologia recebeu atenção como método para conservação de alimentos tais como vegetais e frutas. O uso de irradiação para preservar alimentos é um método eficaz e aconselhável, de acordo com várias evidências científicas. Grupos internacionais de cientistas estudaram este processo extensivamente e concluíram que a irradiação com doses recomendadas não é prejudicial. Nenhum resíduo de radioatividade permanece no alimento processado, como também nenhum efeito adverso é observado na qualidade nutricional [6].

Figura 11 – Morangos tratados com radiação.

Fonte: <http://eurekabrasil.com/por-que-irradiar-alimentos/>.

2.23 Na Medicina

Utiliza-se elementos radioativos para diagnosticar certas doenças sem a necessidade de cirurgia. Para tanto se utiliza elementos de meia-vida curta, os radioisótopos, podem dar informações dos ossos, fígado, coração, pulmão, etc.

Nas radioterapias se utiliza isótopos radioativos de meia-vida maior: radio 222, cobalto-60 e césio 137. Essas fontes são usadas para destruir células cancerosas.

Figura 12 – Aparelho de ressonância eletromagnética.

Fonte: Radiação – medicina.com.br.

2.24 Na produção de energia

2.24.1 Fissão nuclear

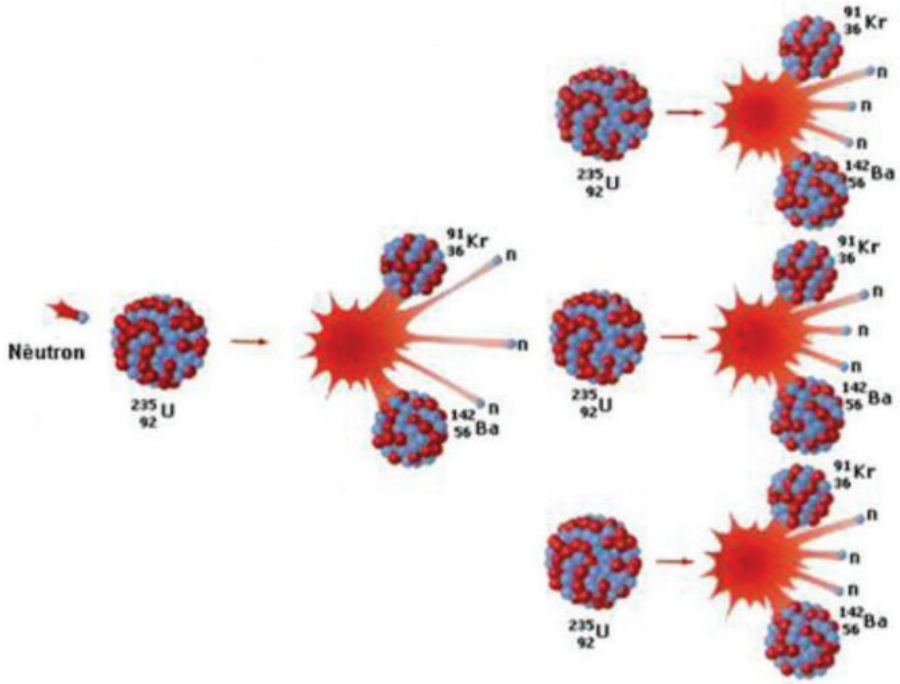
Há uma grande liberação de energia pelos radioisótopos bombardeados por nêutrons, é a chamada fissão nuclear. Essa energia pode ser aproveitada na forma de energia elétrica ou para confecção de bombas atômicas.

Na fissão do ^{235}U, por exemplo, o núcleo de urânio é excitado pela captura de um nêutron e se divide em dois núcleos, cada um com metade da massa original. Uma reação típica de fissão é a seguinte:

$$^{235}\mathrm{U} + n \longrightarrow \ ^{92}\mathrm{Kr} \ + \ ^{142}\mathrm{Ba} \ + 2n + 179,4 \ MeV. \tag{2.3}$$

A força de repulsão eletrostática faz com que os fragmentos sejam arremessados em direções opostas com energias cinéticas elevadas. Colisões com outros átomos com outros

Figura 13 – Fissão nuclear.



Fonte: <https://aminoapps.com/c/ciencias-geografia-hist/page/blog/fissao-e-fusao-nuclear/az73_qPF0u3kk2RQnJVVE5NDXNE0eoB4d>.

átomos transformam subsequentemente esta energia em energia térmica [7].

2.24.2 Fusão Nuclear

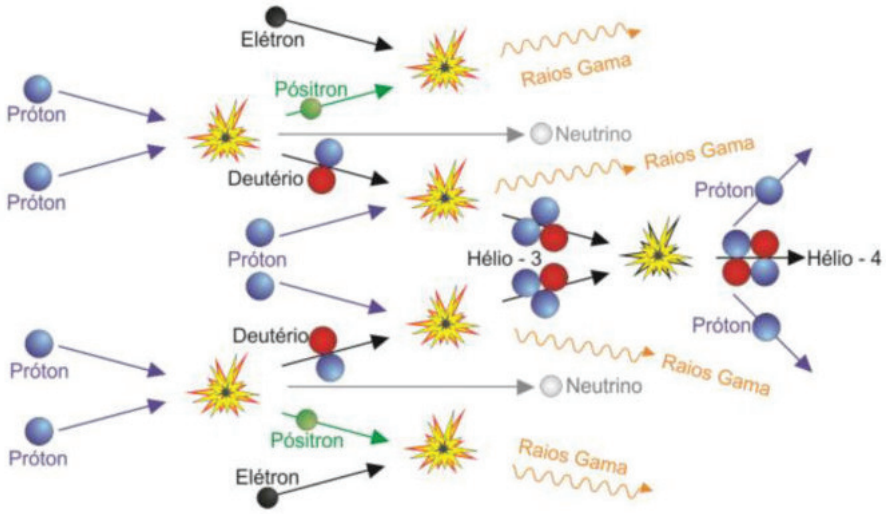
União de núcleos que liberam grandes quantidades de energia em forma de luz visível, calor, ondas de rádio, radiação ultravioleta, infravermelho, raios x, etc. É o que ocorre nas estrelas. A bomba de hidrogênio é um exemplo da fusão de núcleos.

Na fusão, dois núcleos leves, como os de deutério e trítio (2H e 3H), se fundem para formar um núcleo pesado (neste caso, 4He mais um nêutron). Uma reação típica é a seguinte:

$$^{2}\mathrm{H} + {}^{3}\mathrm{H} \longrightarrow {}^{4}\mathrm{He} + n + 17,6\ MeV. \tag{2.4}$$

O uso da fissão e da fusão para o desenvolvimento de armas nucleares teve uma profunda influência sobre o destino da humanidade nos últimos 50 anos. A aplicação pacífica destas reações para o desenvolvimento de novas fontes de energia poderá ter um efeito ainda maior no futuro, contanto que sejam encontradas soluções satisfatórias para os problemas relativos à segurança, proteção ambiental e disseminação da tecnologia nuclear para aplicações bélicas [8].

Figura 14 – Fusão nuclear.



Fonte: <https://aminoapps.com/c/ciencias-geografia-hist/page/blog/fissao-e-fusao-nuclear/az73_qPF0u3kk2RQnJVVE5NDXNE0eoB4d>.

2.24.3 Encontrando Defeitos em Peças Metálicas

Elementos que emitem radiação gama de grande poder de penetração, por exemplo, o rádio-222 são utilizados na indústria metalúrgica para obter radiografias de peças soldadas e peças fundidas para detectar possíveis defeitos.

2.25 Radiação ionizante

Radiação térmica é a radiação emitida por um corpo devido à sua temperatura. Todo corpo emite radiação para o meio que o cerca e dele absorve radiação, basta que haja uma diferença de temperatura entre o corpo e o meio. Nesse caso podemos dizer que se não há diferença de temperatura (equilíbrio térmico), as taxas de emissão e absorção são iguais.

A matéria em um estado condensado (sólido ou líquido) emite um espectro contínuo de radiação, independente do material do qual o corpo é composto, mas dependem bastante da temperatura. A temperaturas usuais a maioria dos corpos é visível para nós não pela temperatura que emite mas pela luz que reflete. Se nenhuma luz incidir sobre eles não podemos vê-lo. A temperaturas muito altas, os corpos, no entanto tem luz própria. Podemos vê-los no escuro; mas mesmo a temperaturas da ordem de milhares de Kelvin, bem mais de 90% das radiações térmicas emitidas são invisíveis para nós, estando na região do infravermelho do espectro eletromagnético. Portanto corpos com luminosidade própria são muito quentes.

Exemplos familiares de objetos que emitem radiação visível incluem carvões em brasa, filamentos de lâmpadas incandescentes e o sol. Corpos negros quentes emitem aspectos térmicos de caráter universal, corpos negros, assim são chamados porque são negros e absorvem toda a energia incidente sobre eles.

2.25.1 O que é radiação ionizante?

Radiação significa a propagação de qualquer tipo de energia, como o calor e a luz. Normalmente, o termo 'radiação' se refere a um tipo que faz mal para os organismos biológicos, chamado radiação ionizante. Assim como a luz, a radiação ionizante é uma radiação eletromagnética, só que está além do espectro visível, acima da região ultravioleta. Durante a fissão nuclear ela é um dos tipos de radiação emitidos, além do calor. A radiação ionizante é capaz de alterar o número de cargas de um átomo, mudando a forma como ele interage com outros átomos. Pode causar queimaduras na pele e, dentro do corpo, dependendo da quantidade e intensidade da dose, causar mutações genéticas e danos irreversíveis às células [9].

Figura 15 – Radiação ionizante e não ionizante.

Fonte: Radioprotecaonapratica.com.br.

2.26 Os efeitos da radioatividade no corpo humano

Em pequenas doses, a radiação ajuda a diagnosticar e tratar doenças. Em grandes quantidades, pode alterar o sistema biológico e até matar. Uma dose altíssima de radiação instantânea pode causar a falência do sistema imunológico, enquanto a mesma quantidade distribuída em várias ocasiões não tem efeito danoso.

Em pequenas doses, a exposição à radiação não oferece riscos à saúde: o corpo tem tempo suficiente para substituir as células que eventualmente tenham sido alteradas ou destruídas. Em doses extremas, é fatal: o desastre nuclear de Chernobyl, na Ucrânia, em 1986, o mais grave da história, matou 30 pessoas em apenas um mês e foi associado a 1.800 notificações de câncer de tireoide. O Japão atravessa agora a pior crise nuclear desde o acidente

Figura 16 – Raio X.

Fonte: ThinkstockImages/VEJA/VEJA.

na usina soviética. O governo divulgou que pelo menos 20 pessoas foram expostas à radiação que escapou da usina Fukushima, mas não detalhou as circunstâncias ou a gravidade dos casos.

Chamada ionizante, a radiação emitida pelo combustível das usinas nucleares (em geral urânio ou plutônio) tem a propriedade de alterar a carga elétrica dos elementos das células humanas. A extensão dos danos à saúde depende da dose e do tempo de exposição e até da região do corpo atingida. Os pulsos, por exemplo, são mais resistentes à radiação. A medula óssea, ao contrário, é o órgão mais sensível.

Na literatura médica, o câncer é um dos problemas mais associados à radiação. Isso porque a radioatividade pode alterar o 'relógio biológico' das células, fazendo com que cresçam desordenadamente, formando tumores. Os tumores induzidos pela radiação não aparecem antes de 10 anos a contar das doses recebidas. Em caso de leucemia, o intervalo cai para dois anos. Esse período entre a exposição e o aparecimento do câncer é chamado 'período latente'.

Os cientistas ainda não têm dados precisos para determinar o risco de câncer associado a uma dada exposição à radiação. Mas existem estimativas. Sabe-se que baixas dosagens não estão relacionadas ao câncer, daí por que são normalmente seguros exames médicos como tomografia, raio-X e mamografia, segundo a Health Physics Society (HPS), uma organização americana especializada nos efeitos da radiação no corpo humano. Mas a partir de uma certa dosagem, a associação entre radiação e câncer aparece.

De acordo com estimativa da Sociedade Americana do Câncer, em um grupo de 100 pessoas, 42 irão desenvolver câncer ao longo da vida. Se o grupo for exposto a uma dose acumulada de 10 milisieverts, durante uma tomografia computadorizada, por exemplo, as mesmas 42 desenvolverão a doença. Mas, para uma dose acumulada de 50 milisieverts, 43 pessoas teriam câncer. A partir deste patamar, o risco aumenta 0,17% a cada 10 milisieverts de radiação.

2.27 O que é Sievert?

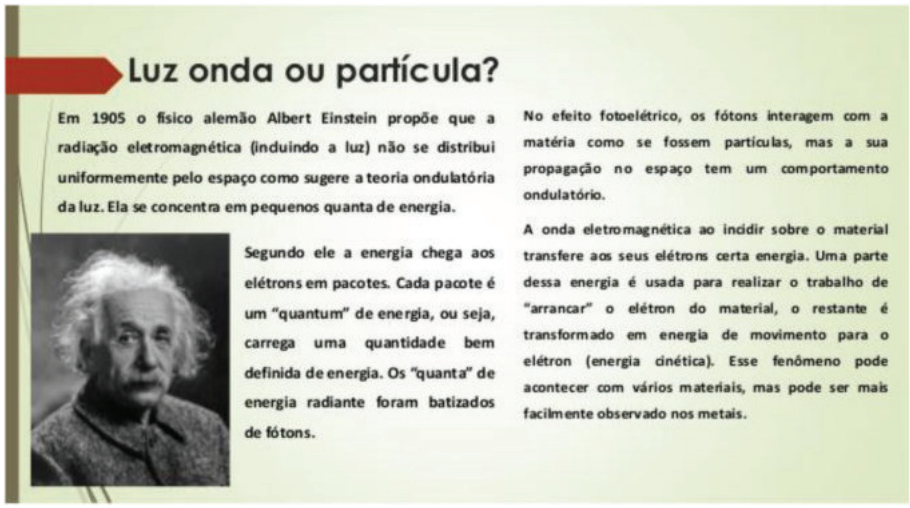
Sievert (Sv) é uma unidade que mede os efeitos biológicos da radiação – os efeitos físicos são mensurados por outra unidade, chamada gray (Gy). A dose de radiação no tecido humano, em Sv, é encontrada pela multiplicação da dose medida em gray por outros fatores que dependem do tipo de radiação, parte do corpo atingida, tempo e intensidade de exposição.

Radioterapia – Muito do que se sabe sobre os efeitos da radiação ionizante na saúde humana se deve à radioterapia, técnica aplicada no combate ao câncer que submete o paciente a doses controladas de radiação. "Na radioterapia, dividimos uma grande dose em várias sessões", explica Artur Malzyner, oncologista do Hospital Albert Einstein. Pacientes com câncer de pulmão, por exemplo, recebem doses que se acumulam entre 2.000 e 3.000 milisieverts. Depois de 18 a 20 aplicações em regiões específicas do pulmão, a dose se completa em 50.000 milisieverts. Um ser humano pode morrer em poucas horas se seu corpo inteiro for exposto à 50.000 milisieverts. Mas, Melzyner esclarece, como as doses são localizadas, "apenas a região onde está o tumor é atingida" [10].

2.28 Partículas e ondas

As radiações nucleares podem ser de dois tipos: partículas, possuindo massa, carga elétrica e velocidade que depende de sua energia e ondas eletromagnéticas, que não possuem massa e se propagam com a velocidade da luz. Em 1905 Albert Einstein publicou um artigo que explicava o efeito fotoelétrico.

Figura 17 – Natureza dual da luz.



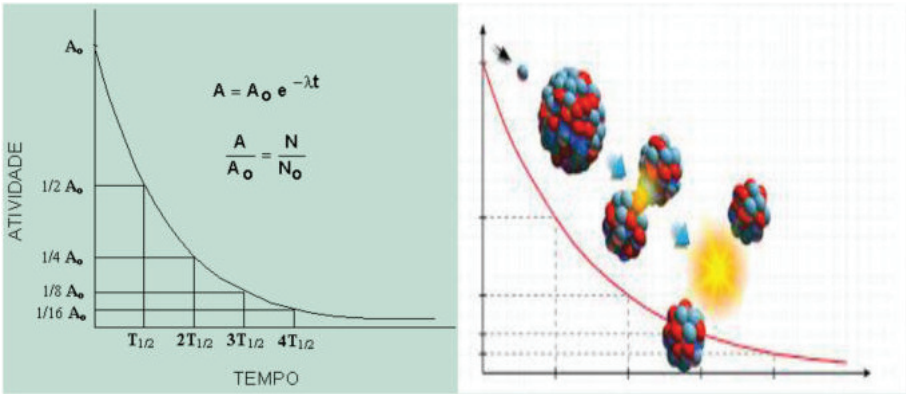
Fonte: <pt.slideshare.net>.

2.29 Atividade de uma amostra

A atividade de uma amostra é a emissão ou transformação por segundo de radiação que um núcleo instável (radioisótopos), realiza para se estabilizar, em forma de partículas alfa ou beta e ondas eletromagnéticas (radiação gama). Nesse caso, há uma variação no número de prótons no núcleo, ou seja, o elemento se transforma ou se transmuta em outro, de comportamento químico diferente.

A transmutação é chamada de desintegração radioativa que representa uma perda de sua integridade e não a desagregação total do átomo. Como ocorre uma diminuição gradual de massa e de emissão de radiação, decaimento radioativo é a expressão mais adequada.

Figura 18 – Desintegração radioativa.



Fonte: <if.ufrgs.bremanualdaquimica.com>.

2.30 Meia–Vida

É o tempo necessário para a atividade de um elemento radioativo ser reduzida à metade de sua atividade inicial, ou seja, a atividade do núcleo vai reduzir até um valor que não nos permite distinguir sua radiação das radiações do meio ambiente. Estima-se que após 10 meias vidas um núcleo radioativo passa a emitir radiações semelhantes às radiações do meio ambiente.

Os núcleos instáveis dos isótopos radioativos emitem partículas alfa ($42\alpha 2+$) e beta (0-1β), resultando em outros núcleos, também instáveis, que realizam emissões radioativas — processo que continua até que se produza um isótopo estável do chumbo (82206Pb). Esse conjunto de elementos é chamado de série radioativa. Dessa forma, podemos afirmar que todos os elementos radioativos vão se desintegrando com o passar do tempo. Mas quanto tempo leva para que um isótopo radioativo desintegre-se completamente?

Para responder a questões como essa é que surgiu o conceito de meia-vida ou período de semidesintegração, geralmente simbolizado por P ou por t1/2.

Para responder a questões como essa é que surgiu o conceito de meia-vida ou período de semidesintegração, geralmente simbolizado por P ou por t1/2.

Tabela 1 – Meia vida dos materiais radioativos.

Radioisótopo	Meia-vida
Carbono – 15	2,4 s
Xenônio -135	9 h
Fósforo – 32	32 dias
Enxofre – 35	87 dias
Cobalto – 60	5,26 anos
Estrôncio – 90	28,1 anos
Césio – 137	30,17 anos
Rádio – 226	1,6 x 10^3 anos
Plutônio – 239	2,44 x 10^4 anos
Urânio – 235	4,5 x 10^9 anos

Fonte: Autor

Digamos, por exemplo, que temos uma amostra de 16 g de 1532P. Depois de 14 dias, a massa dessa amostra passou para 8 g (metade de 16). Assim sendo, a meia-vida desse isótopo radioativo é de 14 dias. Observe como isso ocorre a seguir:

Figura 19 – Meia-vida de um isotopo radioativo.

Fonte: autor.

A meia-vida vale não só para a redução do número de mol do isótopo radioativo, mas também para o número de átomos. Além disso, esse período de semidesintegração varia para cada elemento, podendo ir desde frações de segundos até bilhões de anos. Veja alguns exemplos na tabela 1.

Visto que o decaimento radioativo é um processo que envolve apenas o núcleo atômico, a meia-vida não varia com a pressão ou com a temperatura e nem depende da quantidade inicial da amostra. Essa grandeza pode ser usada para determinar a idade de fósseis vegetais e animais, de rochas e até da Terra [11].

Isso é feito, por exemplo, por meio da datação com carbono-14. Esse isótopo radioativo está presente nos organismos e na Terra em uma concentração constante de 10 ppb, ou seja, em cada bilhão de átomos, existem 10 átomos de carbono-14. Os animais, pessoas e vegetais absorvem esse radioisótopo ao longo de suas vidas, parando de absorvê-lo somente quando morrem e esse radioisótopo começa a desintegrar-se. Visto que o período de meia-vida do carbono-14 é de 5730 anos, é possível medir a concentração de carbono-14 no fóssil e determinar a sua idade.

Por exemplo, digamos que um fóssil animal foi analisado e determinou-se que ele apresenta um teor de carbono-14 igual a 1,25 ppb. Esse valor corresponde a 12,5% do teor de

carbono encontrado nos seres que estão vivos. Assim, desde que o animal morreu, o carbono-14 presente nele completou três meias-vidas, o que dá um total de 17190 anos. Veja:

Figura 20 – Meia-vida de um isotopo radioativo.

100%	→	50%	→	25%	→	12,5%
	5730 anos		5730 anos		5730 anos	

Fonte: autor.

Figura 21 – Meia-vida de um isotopo radioativo.

10	ppb	→	5	ppb	→	2,5	ppb	→	1,25	ppb
		5730 anos			5730 anos			5730 anos		

Fonte: autor.

5730 anos x 3 = 17 190 anos Portanto, essa é a idade do fóssil!

2.31 O Amerício – 241

A fonte radioativa que vai ser usada no experimento para a observação da radioatividade, através de um contador Geiger – Muller é o Amerício – 241. Nome derivado de América e foi descoberto por Seaborg e colaboradores em 1944 em Chicago, USA. O isótopo Am-241 foi identificado como resultado da captura de nêutrons pelo Pu-239. Seu isótopo de meia vida mais longa é o Am-243 com 7,37 x 10^3 anos. O metal é obtido pela reação do AmF_3 com vapor de Ba a 1000-1200oC ou pela reação do AmO_2 com Lantânio [3].

2.32 Características principais

O metal amerício recém obtido tem o aspecto branco-prateado brilhante (mais prateado do que o plutônio ou neptúnio), perdendo o brilho lentamente em presença do ar seco, na temperatura ambiente. A emissão alfa do Am-241 é aproximadamente três vezes maior que o do rádio. O Am-241 também apresenta uma intensa emissão de raios gama.

2.33 Ocorrência

O amerício não existe na natureza. É um elemento transurânico sintético obtido a partir do plutônio num reator nuclear. É altamente radioativo devido a grade emissão de radiações alfa e gama. Por isso, deve ser manuseado com cuidado [4].

2.34 Aplicações

Este elemento pode ser produzido em grandes quantidades, na maior parte o isótopo Am-241, por ser mais fácil de obter amostras relativamente puras. O amerício é usado em alguns detectores de fumaça, contendo minúsculas quantidades de Am-241 como fonte de radiação ionizante, na forma de dióxido de amerício, encontrados em lares, escolas, onde se pretende obter maior segurança contra incêndios. Esses detectores são responsáveis por milhares de vidas salvas, já que detecta o incêndio assim que é iniciado. O Am-241 tem sido usado, também, como uma fonte portátil de raios gama para uso em radiografia. O elemento foi empregado também para calibrar a espessura de vidros, permitindo a obtenção de vidros bastante planos. O Am-242 é um emissor de nêutrons usado em radiografia de nêutrons. Entretanto, este isótopo é extremamente caro para ser produzido em quantidades usáveis [5].

2.35 Contaminação e Irradiação

A contaminação radioativa caracteriza-se pela presença de uma fonte radioativa em um local inadequado e que entra em contato com as pessoas ou objetos.

A irradiação é a exposição de um objeto ou um corpo à radiação o que pode ocorrer sem necessidade de contato íntimo. É importante frisar que irradiação não contamina, mas contaminação irradia.

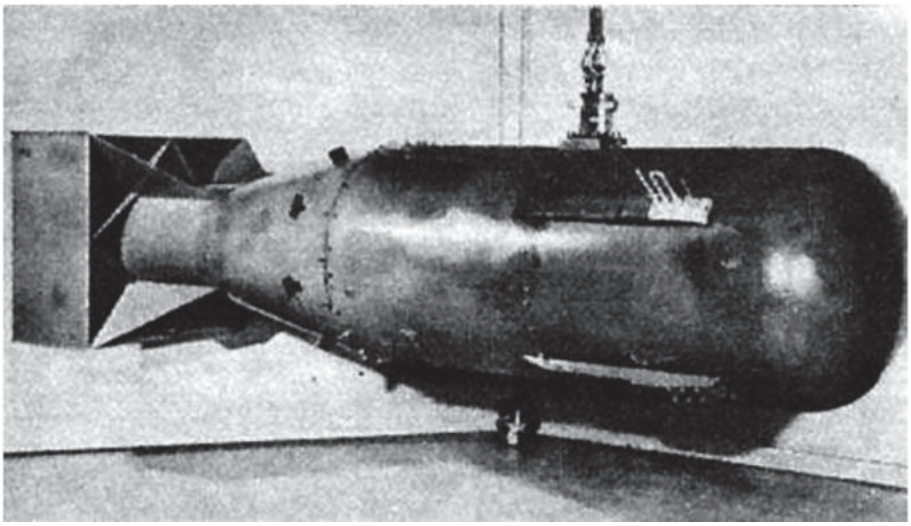
2.36 Bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki

As consequências das bombas atômicas lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki foram desastrosas. O poder consumidor das bombas foi além da destruição de lugares e pessoas, atingindo a área da genética. Os efeitos causados fizeram com que os seus sobreviventes transmitissem as lesões para as próximas gerações. Até hoje, crianças nascem com problemas genéticos causados pela radiação das bombas.

No dia 6 de agosto de 1945 acontecia a primeira explosão de uma bomba atômica na história da humanidade. Chamada pelos americanos de "Little Boy", a bomba foi lançada sobre o centro de Hiroshima, exatamente às 8h15 da manhã. A bomba continha 50 quilos de urânio 235, com potencial destrutivo equivalente a 15 mil toneladas de TNT. O calor liberado pela bomba foi de 100 calorias/cm^2 no grau zero, 56 calorias/cm^2 a 500 metros e 23 calorias/cm^2 a mil metros do centro da explosão.

O dia 6 de agosto de 1945 era uma segunda-feira em HIROSHIMA e estava ensolarado, sem nenhuma nuvem. A temperatura estava em 26,7°C, a umidade relativa do ar era de 80%, um dia que prenunciava o verão intenso. Mesmo o Japão estando em guerra, o dia-a-dia da cidade seguia normalmente. Às 7h9m, alertada pelas sirenes, a população se escondeu nos abrigos antiaéreos. Às 7h31m, com o fim do toque de recolher, todos voltaram a seus

Figura 22 – Bomba atômica.



Fonte: <todamateria.com.br>.

Figura 23 – Bomba atômica Hiroshima 1945 / Hiroshima Peace Memorial Museum.

Fonte: <super.abril.com.br>.

afazeres. Novamente, às 8h13m, soa mais um alerta de ataque aéreo e, às 8h15m, pela primeira vez no mundo, uma arma nuclear é usada numa guerra. A bomba atômica explodiu 600 metros acima da superfície, formando uma bola de fogo com temperatura interna de 1.000.000 graus. A superfície ao redor do ponto de explosão atingiu de 3000 a 4000°C. Em um instante, HIROSHIMA se transformou num inferno. Metade das pessoas que estavam num raio de 1.2 km do ponto de explosão morreram no dia. Até o final de dezembro do mesmo ano, calcula-se que da população estimada de 350.000 pessoas, 140.000 morreram.

O segundo alvo era Kokura, Fukuoka. Mas, por causa do mau tempo, o piloto teve dificuldades de sobrevoar a cidade, recorrendo ao alvo alternativo, Nagasaki, que foi atingida no dia 9 de agosto, exatamente às 11h02 da manhã. A cidade, rodeada por montanhas, não era considerada um bom alvo, pois as montanhas ao redor poderiam diminuir o seu efeito destrutivo. A bomba, chamada agora por "Fat Boy", era de plutônio 239, com potência equivalente a 22 mil toneladas de TNT. Sendo assim, era 1,5 vez mais potente que a bomba jogada sobre Hiroshima. No entanto, "Fat Boy"explodiu a 3 quilômetros do centro da cidade, formando o famoso "cogumelo"de fumaça.

Por causa do fato de a bomba ter explodido no ar, e não em terra, foi possível haver sobreviventes, uma vez que a onda de choque se espalhou de maneira vertical e não horizontal. Mesmo assim, a devastação e destruição da cidade foi incalculável. Hiroshima era um campo de destroços e poeira tóxica, onde foram mortas mais de 60 mil pessoas. Já em Nagazaki, a fumaça atingiu uma altura de mais de 18 quilômetros, e sua força era imensurável, destruindo qualquer coisa que havia no caminho. O calor e o fogo queimaram as pessoas e a Natureza, deixando até hoje o solo envenenado.

Ainda hoje sente-se os efeitos causados pelas bombas atômicas. As pessoas que não morreram, foram expostas a uma devastadora radiação. A bomba não somente causou a morte de milhares de pessoas durante a explosão, mas causa a morte de pessoas até hoje, devido à radiação. Mais de 70 mil pessoas já foram mortas desde então, em consequência da exposição à radiação das bombas.

O lançamento das bombas atômicas sobre Hiroshima e Nagasaki foi a forma utilizada pelos Estados Unidos para forçar a rendição japonesa no contexto da Segunda Guerra.

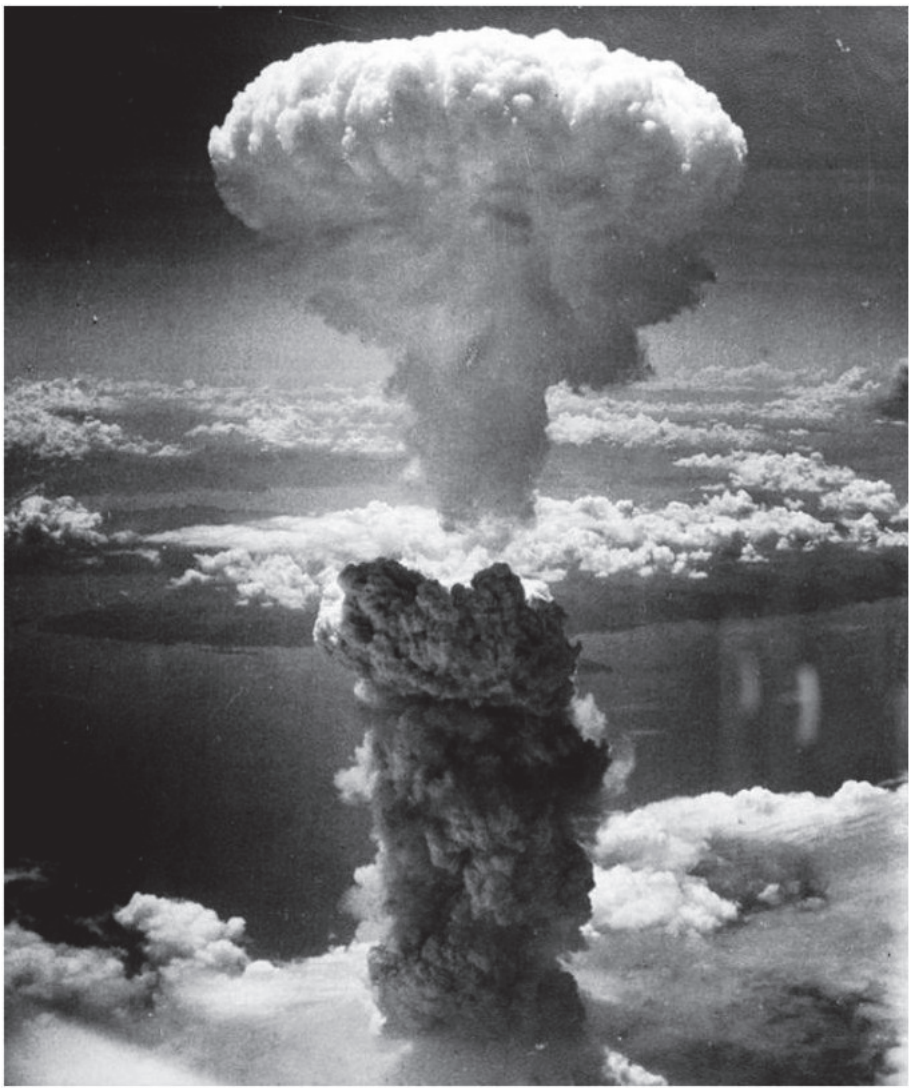
Nos dias 6 e 9 de agosto de 1945, os Estados Unidos utilizaram, pela primeira vez na história da humanidade, bombas atômicas. Elas foram lançadas sobre as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki. O objetivo desse ato era forçar o Japão a se render e evitar uma provável invasão desse país, o que resultaria em milhares de soldados aliados mortos [13].

2.37 Início da Guerra na Ásia

O conflito entre Japão e Estados Unidos durante a segunda guerra mundial iniciou-se após o ataque japonês à base naval estadunidense de Pearl Harbor, em 7 de dezembro de 1941. O ataque japonês forçou uma declaração de guerra dos Estados Unidos contra o Japão. O interesse do Japão era afastar definitivamente a presença americana do continente asiático (os EUA possuíam bases militares nas Filipinas).

A princípio, o Japão foi vitorioso em suas ações e conseguiu conquistar inúmeros territórios, derrotando as desorganizadas forças americanas, inglesas e francesas em várias partes da Ásia: Filipinas, Malásia, Cingapura, Hong Kong, Birmânia, Índias Orientais Holandesas etc. Todavia, as vitórias japonesas logo se transformaram em derrotas.

Figura 24 – Bomba atômica em Nagasaki, 1945, o famoso formato de cogumelo.



Fonte: <educacional.net>.

A virada americana no conflito iniciou-se após a Batalha de Midway, na qual a Marinha Imperial Japonesa foi danificada de maneira irreversível. Com isso, o Japão passou a acumular derrotas, que pouco a pouco encurralaram o país. Em 1945, o Japão era um país que estava falido pela guerra (a fome era um grande problema para os civis) e a derrota era iminente.

2.38 Conferência de Potsdam e Projeto Manhattan

À medida que a derrota japonesa tornava-se evidente, os Estados Unidos juntamente aos Aliados (aliança formada por Inglaterra, França, EUA e, mais tardiamente, URSS) passaram a planejar a invasão do território japonês. Entretanto, as dificuldades impostas pela resistência japonesa indicavam que uma eventual invasão resultaria na morte de milhares de soldados americanos.

Figura 25 – Cogumelo formado pela bomba lançada em Nagasaki, no dia 9 de agosto de 1945.

Fonte: <meionorte.com>.

Figura 26 – Destruição causada pela bomba atômica na cidade de Hiroshima.

Fonte: <greenme.cm.br>.

Assim, na Conferência de Potsdam, os Estados Unidos apresentaram a arma que havia sido desenvolvida durante o ProjetoManhattan e também a ideia de utilizá-la no conflito contra os japoneses. A Conferência de Potsdam foi realizada em Berlim, em julho e agosto de 1945, e impôs as condições para a Alemanha ocupada no fim do conflito na Europa. Nessa conferência,

também foram emitidos os termos da rendição japonesa, conhecidos como Declaração de Potsdam.

O Projeto Manhattan teve início em 1939, quando o presidente americano, Franklin Roosevelt, recebeu uma carta assinada por Albert Einstein alertando os Estados Unidos sobre um possível projeto alemão de construção de armas atômicas. A partir daí os Estados Unidos, em mobilização com o Reino Unido e o Canadá, empregaram milhares de colaboradores para o desenvolvimento das bombas atômicas [14].

2.39 Lançamento das bombas atômicas sobre Hiroshima e Nagasaki

Figura 27 – Destruição causada pela bomba em Nagasaki.

Fonte: <brasilescola.uol.com.br>.

Com a negativa japonesa em se render, os americanos optaram por utilizar a bomba atômica na cidade japonesa de Hiroshima. O ataque aconteceu no dia 6 de agosto de 1945 e foi realizado de um bombardeiro B-29 chamado EnolaGay. O avião era pilotado por Paul Tibbets, que escolheu a ponte Aioi como alvo central.

A bomba explodiu a mais ou menos 580 metros de altura e originou um pequeno sol, que espalhou um clarão pela cidade e uma onda de energia e calor que foi responsável pela destruição material quase completa da cidade de Hiroshima, além de resultar em 80 mil vítimas imediatas.

Muitas pessoas foram vaporizadas instantaneamente com o calor da destruição; outras, mais distantes do local de lançamento, foram carbonizadas. Além disso, grandes incêndios foram

registrados por toda a cidade. Apesar da grande destruição, parte da cúpula do governo japonês recusava-se a acreditar que os Estados Unidos detinham outra bomba atômica e acreditavam em uma resistência final do povo japonês, o que resultaria na derrota americana, conforme o relato de Charles Pellegrino: "O general Yoshijiro Umezu [. . .] acreditava fanaticamente em uma última grande resistência na qual o povo do Japão infligiria perdas inaceitáveis nas forças invasoras em terra, e as repeliria; ou morreria na derrota e levaria os norte-americanos junto para o inferno.

A recusa japonesa fez com que os Estados Unidos utilizassem sua segunda bomba nuclear. A bomba deveria ter sido lançada na cidade japonesa de Kokura, entretanto, a condição climática da cidade fez com que os pilotos fossem para Nagasaki. A bomba de Nagasaki era 50% mais poderosa que a de Hiroshima, mas parte da cidade foi protegida pelos morros que possuía. Assim, a bomba em Nagasaki matou cerca de 40 mil pessoas imediatamente. O avião que lançou a bomba sobre Nagasaki também era um B-29 e chamava-se Bock'sCar.

Muitos dos sobreviventes tiveram de conviver com a dor de grandes queimaduras espalhadas pelo corpo. O contato com a radiação matou muitos dos sobreviventes nos dias seguintes, e outros conviveram com as doenças causadas pela radiação pelo resto de suas vidas. A população atingida sofreu com o preconceito do restante da sociedade japonesa e, por anos, precisou lutar para que o governo japonês arcasse com os custos médicos.

O uso das bombas fez com que o Japão se rendesse em 14 de agosto de 1945. No dia seguinte, a declaração de rendição, na voz do Imperador Hirohito, foi transmitida por rádio para todo o Japão. A transição do Japão no pós-guerra foi realizada de acordo com os termos estipulados pelos Estados Unidos.

2.40 Acidente da Usina Nuclear de Chernobyl

A usina nuclear de Chernobyl era localizada na cidade de Pripyat na Ucrânia (na época era parte da União Soviética), era composta por quatro reatores e foram cenário de um dos maiores acidentes nucleares da história. A usina era utilizada para geração de energia para o país.

Observe o "sarcófago"de concreto construído para conter a radiação.

O desastre ocorreu em 26 de abril de 1986. Tudo começou quando um dos quatro reatores explodiu e ocasionou diversas reações em cadeia e o motivo dessa explosão até hoje é controverso e mal explicado. Alguns afirmam que foi apenas falha dos operadores e outros atribuem falha no projeto das hastes de controle do reator. As hastes dos reatores são compostas por elementos, geralmente o cádmio (Cd) que tem tendência em absorver nêutrons e amenizar as reações no interior do reator. Também é bem provável que muitos procedimentos irregulares e que não obedeciam às normas de segurança tenham sido executados.

O relatório dos procedimentos feitos na data afirma que a equipe operacional planejou

Figura 28 – Usina Nuclear de Chernobyl, na Ucrânia.

Fonte:Tinta / <Shutterstock.com>.

testar se as turbinas do reator Chernobyl-4 seriam capazes de gerar energia suficiente para manter as bombas do líquido de refrigeração funcionando caso houvesse problemas de perda de potência até que o gerador de emergência fosse ativado. Em pouquíssimo tempo a potência e a temperatura do reator subiram extremamente ocasionando explosões que geraram ainda mais energia para as reações e além disso houve a entrada de oxigênio do ar que piorou o processo de combustão contribuindo para que a radiação fosse espalhada.

Os primeiros dias após o acidente foram os que mais tiveram radiação liberada principalmente em função do vento e das chuvas, e a contenção do reator era feita com areia e chumbo para o incêndio e a radiação respectivamente. Quem efetuava essas ações eram os chamados "homens liquidadores" que perderam a vida no combate ao incêndio. Os moradores da cidade

foram evacuados e 10 dias após o desastre a emissão de radiação do reator foi cessada. O governo calculou 15 mil mortes e outras fontes apontam algo em torno de 80 mil. Até hoje milhares de pessoas sofrem os efeitos da radiação. Apenas nos anos 2000 a usina foi desativada e a área em torno da usina se tornou uma cidade fantasma que ainda está sob efeito radioativo. Outros países também relataram sofrer os efeitos da radiação como foi o caso da Dinamarca e da Itália. O reator 4 encontra-se em um "sarcófago" de concreto e aço, é assim que se chama o recipiente onde está guardado para evitar o espalhamento da radiação [15].

2.41 Acidente nuclear em Fukushima, no Japão

Após ter parte de seu território devastado por um terremoto seguido de tsunami, japoneses enfrentam vazamento de radiação em usina nuclear afetada. Acidente, porém, não é comparável à maior tragédia nuclear da história.

Figura 29 – Cartaz, mostrando o símbolo da energia nuclear, na área que foi contaminada pelo césio 137.

Fonte: Joao Rami.

O terremoto de 8,9 graus na escala Richter e o tsunami que abalaram o Japão na madrugada do dia 11 de março de 2011 (horário de Brasília) provocaram danos na usina nuclear de Fukushima, localizada na região nordeste da ilha. Vazamentos radioativos foram registrados e um iminente desastre nuclear mobilizou a comunidade internacional.

No momento do terremoto, 11 usinas localizadas na região entraram em processo de desligamento. Como parte do procedimento, os reatores precisam ser resfriados, uma vez que a

fissão nuclear permanece ocorrendo mesmo após a interrupção na geração da energia. Cerca de uma hora depois do tremor, a usina de Fukushima foi atingida pelo tsunami. O sistema de resfriamento foi avariado e os técnicos japoneses passaram a adotaram medidas alternativas, como a injeção de água do mar nos reatores. Mesmo assim, três explosões se sucederam, a última delas na manhã da segunda-feira (14).

Segundo informações do governo japonês, houve vazamento radioativo, mas os reatores estão preservados. Os níveis de radiação no entorno da usina superaram em oito vezes o limite de segurança, forçando a evacuação da população em um raio de 20 km ao redor da usina.

Segundo Laércio Vinhas, diretor de Radioproteção e Segurança Nuclear, da Comissão Nacional de Energia Nuclear brasileira, as medidas tomadas pelo governo japonês estão de acordo com o manual de operações para crises em usinas.

Em Fukushima, explica o especialista, as explosões ocorreram quando a água usada para o resfriamento se tornou vapor de alta temperatura - liberando hidrogênio, altamente inflamável. Ainda que o reator seja danificado, Vinhas acredita que o acidente não deverá atingir grande magnitude. "Ainda sabemos pouco sobre a dimensão dos acontecimentos. Mas mesmo com o núcleo exposto, a estrutura da usina japonesa tem capacidade para evitar uma exposição exagerada. Caso isso ocorra, as consequências serão bem locais", afirma.

Vinhas afirma que não é possível comparar o acidente de Fukushima ao ocorrido em Chernobyl, na Ucrânia, em 1986. "Naquele caso, as estruturas eram defasadas. E o acidente aconteceu com o reator em funcionamento", explica o diretor. O evento do Japão é mais parecido com o acidente na usina ThreeMileIsland, em 1979, nos Estados Unidos", avalia Vinhas.

Na ocasião, em TMI, não houve vítimas nem vazamento de radiação para além dos limites da usina. No entanto, no Japão, com o acidente ainda fora de controle e dificuldade das autoridades em mensurar seus efeitos, os estragos podem ser maiores [16].

2.42 O Acidente Radioativo em Goiânia

O acidente com césio-137, foi um grave episódio de contaminação por radioatividade ocorrido no Brasil. A contaminação teve início em 13 de setembro de 1987 em Goiânia. Foi classificado como nível 5 (acidentes com consequências de longo alcance) na escala internacional de acidentes nucleares, que vai de zero a sete, em que o menor valor corresponde a um desvio, sem significação para segurança, enquanto no outro extremo estão localizados os acidentes graves.

Após vários anos de uso, uma fonte radioativa de césio 137, usada no tratamento de câncer foi desativada, ou seja, não foi mais utilizada para fins médicos e por descuido foi jogada num lixão comum. A fonte ainda apresentava uma atividade radioativa muito elevada e infelizmente foi encontrada por pessoas leigas no que diz respeito a radioatividade,

contaminando várias pessoas. Uma cápsula de chumbo acondicionava a fonte radioativa na forma de um sal brilhante que chamou a atenção de quem a encontrou e contaminou outras pessoas [17].

Figura 30 – Acidente Radioativo em Goiânia.

Fonte: deesanet.com.br.

2.43 Descontaminação

Consiste em retirar o material contaminante (fonte radioativa) das proximidades das pessoas ou de outros objetos que não precisam ser contaminados. No caso de Goiânia, as pessoas foram descontaminadas e os objetos (moveis, eletrodomésticos, etc) foram considerados rejeitos radioativos e como tal foram tratados.

2.44 O lixo atômico

A radiação pode representar perigo para as pessoas e ao meio ambiente. Os materiais radioativos que não tenham mais utilidade continuam emitindo radiação e são chamados de rejeitos radioativos e não podem ser descartados em qualquer lugar. Se a radiação for muito diferente da radiação do meio, deve-se tratar esse rejeito ou armazenar em locais apropriados. Rejeitos de baixa atividade são colocados em sacos plásticos e guardados em tambores ou em caixas de aço.

Os produtos de fissão, resultantes do combustível nos reatores nucleares, sofrem tratamento especial em usinas de reprocessamento e os materiais radioativos restantes que não tem justificativa técnica ou econômica para serem utilizados, sofrem tratamento químico especial e são vitrificados, guardados em sistemas de contenção e armazenados em depósitos de rejeitos radioativos.

O acidente de Goiânia aconteceu em 1987 e somente em 1995 foi construído um contêiner dentro dos padrões internacionais de segurança para armazenar os rejeitos menos ativos e 1997 foi concluído o segundo depósito destinado aos rejeitos de atividade maior. A

Figura 31 – Acidente Radioativo em Goiânia.

Fonte: <https://www.todamateria.com.br/radioatividade/CarolinaBatistahttps://www.ecycle.com.br/2766-poluicao-radioativa>.

CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) deverá controlar por 50 anos esses depósitos para que não ocorra impacto radioativo na natureza. É de se esperar que depois desses 50 anos a radiação dessas fontes venham a se equiparar às radiações ambientes.

2.45 Biografia de Ernest Rutherford

Ernest Rutherford (1871-1937) foi um físico e químico neozelandês, que pesquisando o urânio descobriu a emissão de raios alfa e beta, deixando grande contribuição para a moderna teoria atômica.

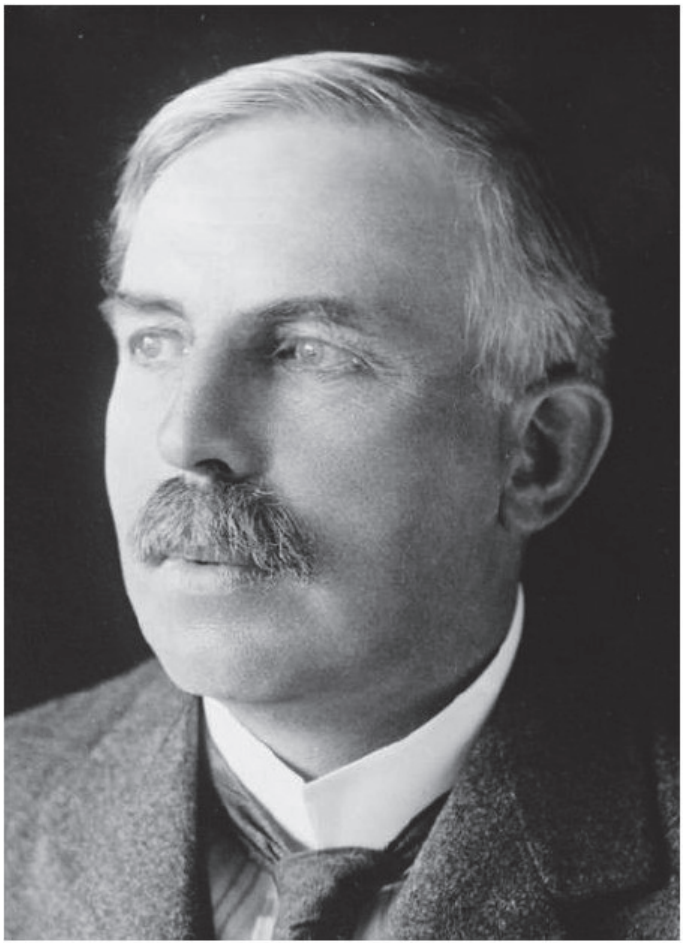
Ernest Rutherford (1871-1937) nasceu em Nelson, Nova Zelândia, no dia 30 de agosto de 1871. Cresceu e fez seus estudos em sua cidade natal. Em 1893 graduou-se em Matemática e Física na Universidade de Wellington. Através de um concurso, ganhou uma bolsa de estudos que o levou à Universidade de Cambridge, na Inglaterra.

No Laboratório Cavendish, em Cambridge, som a orientação do físico J.J. Thomson, descobridor dos elétrons, ele realizou pesquisas sobre o movimento das partículas atômicas ou moleculares eletricamente carregadas: os íons. Estudou as radiações emitidas pelo elemento rádio, recém-descoberto por Maria Curie e Pierre Curie.

Em 1898, partiu para o Canadá. Em 1899, pesquisando o urânio na Universidade McGill de Montreal, constatou que um tipo de radiação emitido por esse elemento era facilmente boqueado por uma folha fina de metal. Denominou a partícula de raios alfa. Descobriu também, outra forma de radiação, mais penetrante e bloqueada com folhas mais espessas de metal, que batizou de raios beta.

As descobertas de Rutherford foram importantes para o futuro trabalho, juntamente com o químico inglês Frederick Soddy, quando estabeleceram as bases da "teoria da radiatividade". Suas pesquisas e conclusões encontram-se no livro intitulado "Substâncias Radiativas e Suas Radiações".

Figura 32 – Ernest Rutherford.



Fonte: <britannica.com>.

Em 1907, Rutherford muda-se para Manchester, na Inglaterra. Nessa época, descobriu que os raios alfa consistiam em um fluxo de átomos de hélio congregados positivamente, ou seja, átomos de hélio sem seus elétrons. Por essa descoberta recebeu o Prêmio Nobel de Química em 1908. A partir de 1910 iniciou uma série de experiências.

Ernest Rutherford foi presidente da Royal Society entre 1925 e 1930. Recebeu diversas honrarias, entre elas, a "Ordem do Mérito", em 1935, o título de "Baron Rutherford de Nelson", em 1931, foi agraciado com o título de "Lord", em 1937.

Ernest Rutherford faleceu em Cambridge, Inglaterra, no dia 19 de outubro de 1937 [18].

2.46 Biografia de Marie Curie

Marie Curie (1867-1934) foi uma cientista polonesa. Descobriu e isolou os elementos químicos, o polônio e o rádio, junto com Pierre Curie. Foi a primeira mulher a ganhar o Prêmio Nobel de Física e a primeira mulher a lecionar na Sorbonne.

Marya Sklodowska Curie (1867-1934) conhecida como Marie Curie, nasceu em Varsóvia

Figura 33 – Marie Curie.

Fonte: <mundoeducacao.bo.uol.com.br>.

na Polônia, no dia 7 de novembro de 1867. Filha de um professor de Física e Matemática e de uma pianista, com dez anos ficou órfã de mãe. Nessa época a Polônia era parte da Rússia czarista e impunha restrições aos poloneses. Em 1883 Marie ganhou uma medalha de ouro ao completar o curso ginasial com louvor.

Trabalhou como governanta e professora para pagar os estudos da irmã mais velha. Depois de formada em Medicina, a irmã ajudou Marie a realizar seu sonho, estudar na Sorbonne. Em 1891, partiu para Paris, para aprimorar os conhecimentos de química e física. Nessa época, adotou a forma francesa para seu nome. Viveu em um sótão quase sem ar e com pouco orçamento para as refeições. Em 1893 graduou-se em Física e, em 1894 em Matemática. Foi a primeira colocada no exame para o mestrado em Física e no ano seguinte ficou em segundo lugar no mestrado em Matemática.

Ainda em 1895 conheceu Pierre Curie, que trabalhava em pesquisas elétricas e magnéticas. Um ano depois estavam casados. Em dezembro de 1898, Marie comunica a descoberta do novo elemento, que chamou de polônio, em homenagem a seu país. Continuando as pesquisas isolaram outro elemento radiativo, era o rádio, (termo criado por Marie). Em 1903 o casal ganhou o Prêmio Nobel de Física, por suas descobertas no campo ainda novo da radioatividade.

Em 1900 Marie Curie foi convidada para lecionar física na École Normale Supérieure, em Sévres, enquanto Pierre era indicado para conferencista na Sorbonne. Em 1904, Pierre foi nomeado professor da Sorbonne e Marie assumiu o cargo de assistente-chefe do laboratório

dirigido por seu marido.

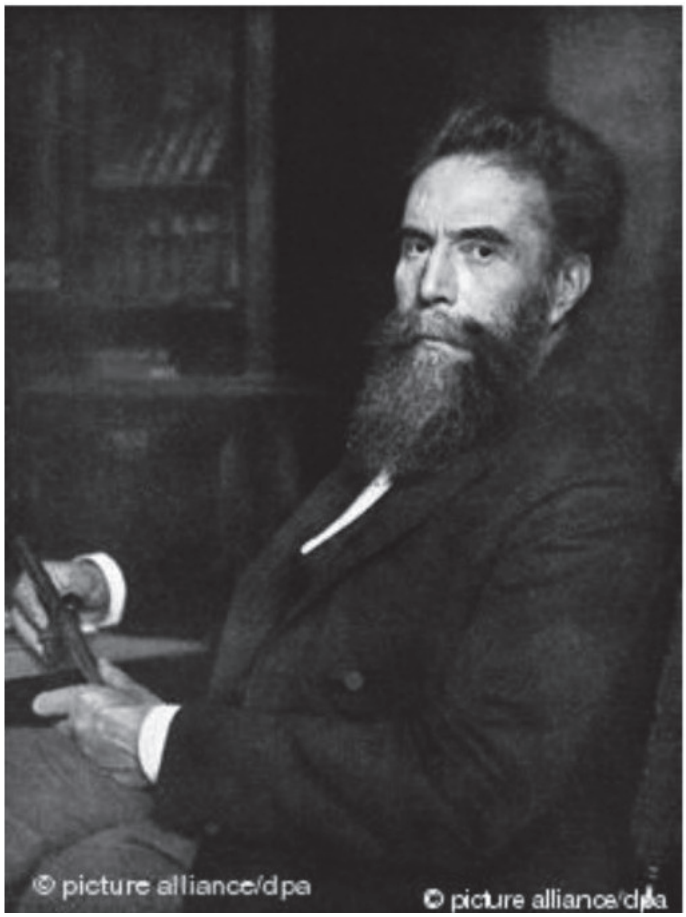
Em 1905 Pierre Curie foi eleito para a Académiedes Sciences. Em abril de 1906 Pierre morreu tragicamente, vitimado por um atropelamento. No dia 13 de maio, pouco antes de um mês da morte do marido, Marie foi indicada para substituí-lo, tornando-se a primeira mulher a ocupar uma cadeira de professor na Sorbonne.

Em 1910, finalmente, auxiliada por Debierne, Marie Curie conseguiu obter o rádio em estado metálico. Em 1911 foi agraciada com o Prêmio Nobel de Química por suas investigações sobre as propriedades do rádio e as características dos seus compostos. Tornou-se a primeira personalidade a receber duas vezes o Prêmio Nobel.

Marie Curie faleceu em Sancellemoz, na Suíça, no dia 4 de julho de 1934. Seus órgãos vitais estavam comprometidos devido a constante exposição ao rádio [19].

2.47 Biografia de Wilhelm Conrad Röntgen

Figura 34 – Wilhelm Conrad Röntgen.



Fonte: <etage.sia.ch>.

No dia 27 de março de 1845 nasceu na Alemanha o físico que revolucionaria as ciências naturais ao descobrir que a radiação pode atravessar substâncias opacas à luz comum.

O físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen estudou na Holanda e na Suíça, formando-se em Zurique. Pela descoberta dos raios X, em 1901, foi o primeiro a receber o Prêmio Nobel de Física.

Röntgen interessou-se pela Física após haver cursado engenharia mecânica. Em novembro de 1895, já trabalhando como professor da Universidade de Würzburg, na Alemanha, observou um fenômeno surpreendente ao fazer experimentos com um tubo de raios catódicos.

Sabia-se, na época, que certos materiais emitiam luz quando expostos a raios catódicos. O tubo de raios catódicos tinha sido inventado pelo inglês William Crookes (1832-1919) anos antes. Era um tubo de vidro, dentro do qual um condutor metálico aquecido emitia elétrons – os raios catódicos – em direção a outro condutor.

Quando Röntgen ligou o tubo, uma placa de material fluorescente – bário – brilhou. Ele desligou o tubo e o brilho sumiu. O brilho persistiu quando Röntgen colocou um livro e uma folha de alumínio entre o tubo e a placa. Alguma coisa saía do tubo, atravessava barreiras e atingia a placa de bário [20].

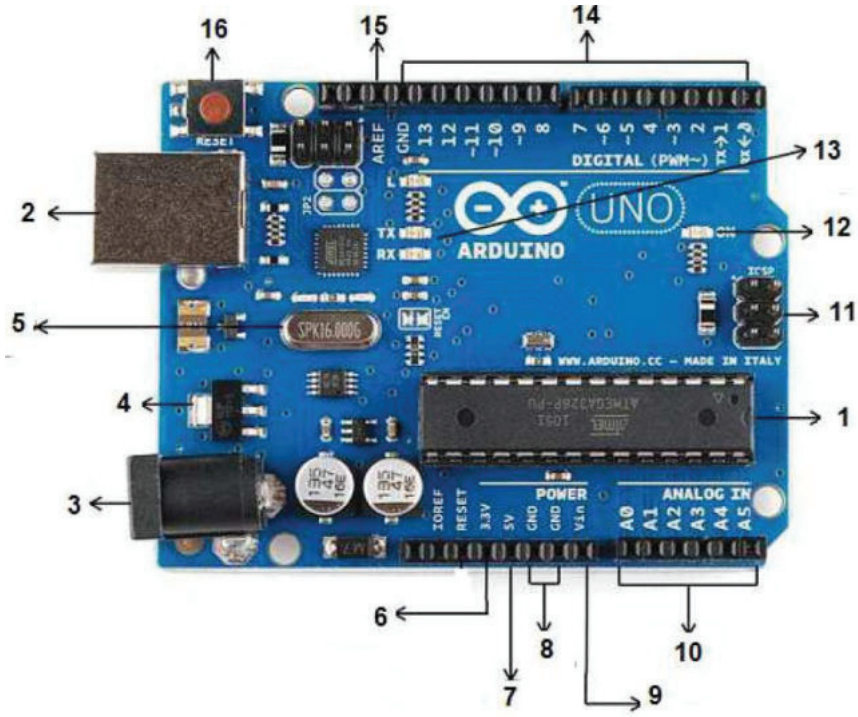
3 Construção da Parte Experimental do Produto Educacional

3.1 Hadware e Software empregado

3.1.1 A Placa Arduino Uno Rev. 3

A plataforma de prototipagem eletrônica Arduino é composta de duas partes: o hardware e o software. O hardware consiste em um micro controlador Atmel AVR de 8 bits, com componentes complementares para facilitar a programação e incorporação com outros circuitos [22]. Um importante aspecto é a maneira padrão como os conectores são expostos, permitindo que a placa seja integrada a outros módulos expansivos, conhecidos como Shields [23]. O Arduino utiliza a série de chips megaAVR [24]. Neste trabalho, foram utilizadas placas Arduino Uno revisão 3 que contém o micro controlador ATmega328p. Na sequência, serão descritas as principais partes da plataforma Arduino Rev. 3 conforme a Figura 35.

Figura 35 – Imagem de uma placa Arduino Uno revisão 3 mostrando suas principais partes.



Fonte - [25]

1. Microcontrolador - É o principal componente e comanda todos os outros componentes presentes na placa. É nele que ficam gravadas as informações e onde também é feito o controle e a leitura de todos os pinos da placa.

2. Entrada USB - utilizado para envio de dados do computador para o microcontrolador e também como fonte de alimentação.

3. Fonte de alimentação externa DC - a placa Arduino pode ser alimentada diretamente a partir de uma fonte externa. Uma vez gravada a programação no microcontrolador a placa funciona independente, bastando uma fonte de alimentação. Obs: Se duas fontes de alimentação ficarem ligadas ao mesmo tempo, o Arduino seleciona apenas uma.

4. Regulador de voltagem - a função do regulador de tensão é controlar a tensão dada à placa Arduino e estabilizar as tensões de corrente contínua utilizadas pelo processador e outros elementos.

5. Oscilador de cristal - controla as questões de tempo na placa Arduino. Utiliza a frequência de 16 MHz.

6. Pino 3.3 - alimentação de 3.3 volts de saída para componentes ligados à placa.

7. Pino 5V - fonte de 5 volts de saída. (1) A maioria dos componentes utilizados com a placa Arduino funcionam bem com 3,3 volts e 5 volts.

8. Pino GND (terra) - existem vários pinos GND no Arduino, qualquer um dos quais pode ser usado para aterrar seu circuito.

9. Pino vin - esse pino também pode ser utilizado para alimentar a placa Arduino a partir de uma fonte externa de energia, como a tomada de corrente elétrica de alimentação.

10. Portas analógicas - a placa Arduino Uno possui seis pinos de entrada analógica A0 a A5. Esses pinos podem ler sinais de sensores analógicos e convertê-los em um valor digital para ser lido pelo microcontrolador.

11. ICSP - é um AVR, um cabeçalho de programação pequena para o Arduino que consiste em MISO, SCK, RESET, VCC e GND. Ele é muitas vezes referido como um SPI (Serial Peripheral Interface), que poderia ser considerado como uma "expansão" da saída. Na verdade, você está escravizando o dispositivo de saída para o mestre do barramento SPI.

12. LED - indicador de energia. Esse LED deve acender quando você ligar a placa Arduino em uma fonte de energia para indicar que sua placa está alimentada corretamente.

13. LEDs TX e RX - em sua placa, você vai encontrar dois rótulos: TX (transmissão) e RX (recepção). Eles aparecem em dois lugares na placa Arduino Uno. Em primeiro lugar, nos pinos digitais 0 e 1 para indicar os pinos responsáveis pela comunicação em série. Em segundo lugar, o TX e RX conduzido. O TX pisca com velocidade diferente ao enviar os dados seriais. A velocidade de piscar depende da taxa de transmissão utilizada (baud rate). RX pisca durante o processo de recebimento. Esses pinos não devem ser utilizados quando forem ocupados com funções de recebimento e transmissão de dados.

14. Digital I/O a placa Arduino Uno tem 14 pinos digitais dos quais 6 fornecem saída PWM (Pulse Width Modulation). Esses pinos podem ser configurados para funcionarem como pinos de entrada digitais para lerem os valores lógicos (0 ou 1) ou para simularem saídas analógicas, que por sua vez, é uma técnica para obter resultados analógicos por meios digitais. Esse recurso consiste na geração de uma onda quadrada, na qual, controla-se a porcentagem do tempo em que a onda permanece em nível lógico alto. Essa porcentagem é chamada de Duty Cycle e sua alteração provoca mudança no valor médio da onda, indo desde 0V a 5V no caso do Arduino Uno.

15. AREF significa referência analógica. Por vezes, é, utilizado para definir uma tensão de referência externa (entre 0 e 5 Volts) como o limite superior para os pinos de entrada analógica.

16. Reset do Arduino - utilizado quando necessitar reiniciar o programa em sua placa. Para isso, basta pressionar e soltar o botão reset. (1) A tabela 2 abaixo traz mais informações sobre a placa Arduino Uno Rev.3.

Tabela 2 – Principais características da placa Arduino Uno Rev.3

Tamanho:	5,3cm x 6,8cm x 1,0cm
Microcontrolador:	ATmega328p
Tensão de operação:	5V
Tensão de entrada (recomendada):	7-12V
Tensão de entrada (limites):	6-20V
Pinos de entrada/saída (I/O) digitais:	14 (dos quais 6 podem ser saídas PWM)
Pinos de entrada analógicas:	6
Corrente DC por pino I/O:	40mA
Corrente DC para pino de 3,3V:	40mA
Memória Flash:	32KB (dos quais, 0,5 KB são usados pelo bootloader)
SRAM:	2KB
EEPROM:	1KB
Velocidade de Clock:	16MHz

Fonte - [25]

3.2 O Ambiente de Desenvolvimento Integrado do Arduino IDE

O software Arduino IDE é uma aplicação multiplataforma escrita em Java derivada dos projetos Processing e Wiring. É esquematizado para introduzir a programação a artistas e a pessoas não familiarizaras com o desenvolvimento de software. Inclui um editor de código com recursos de realce de sintaxe, parênteses correspondentes e indentação automática, sendo

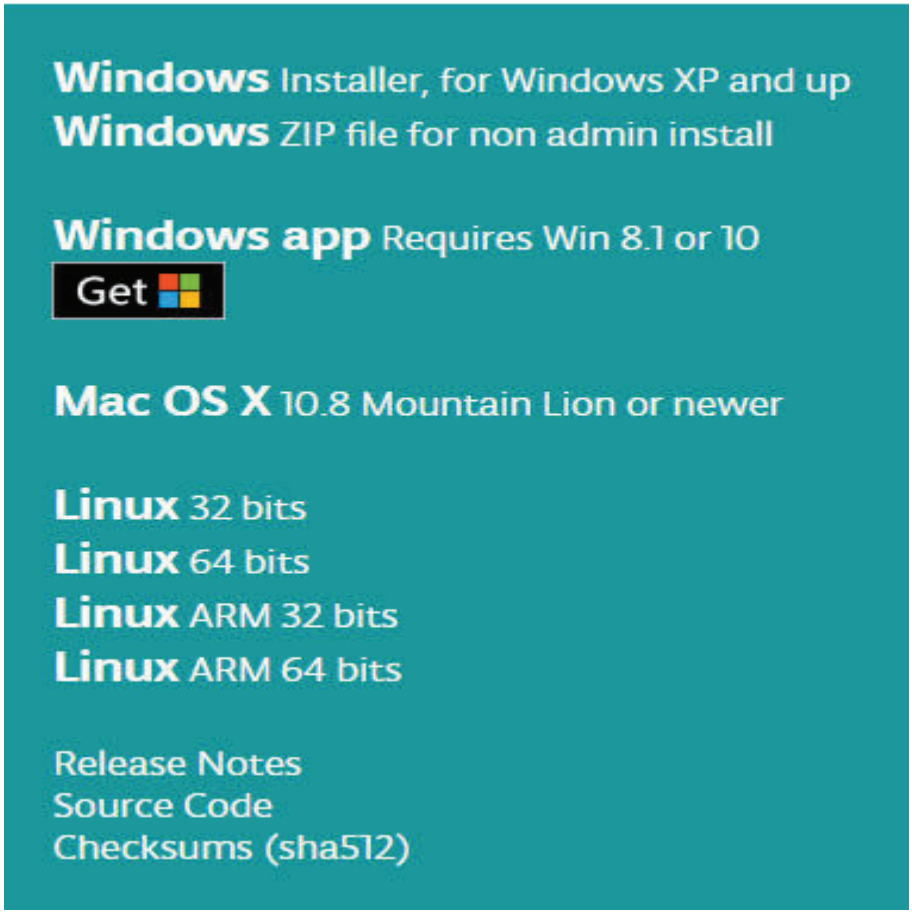
capaz de compilar e carregar programas para a placa com um único clique. Com isso, não há a necessidade de editar Makefiles ou rodar programas em ambientes de linha de comando. Tendo uma biblioteca chamada "Wiring", ele possui a capacidade de programar em C/C++. Isso permite criar com facilidade muitas operações de entrada e saída, tendo que definir apenas duas funções no pedido para fazer um programa funcional, quais sejam:

- setup( ) - Inserida no início, na qual pode ser usada para inicializar configuração, e
- loop( ) - Chamada para repetir um bloco de comandos ou esperar até que seja desligada.

3.2.1 Como baixar e instalar

Acesse o site oficial do Arduino [25] e escolha a opção adequada a seu sistema operacional, windows ou linux, como mostra a figura 2.

Figura 36 – Imagem do site Arduino.cc.



Fonte - [25]

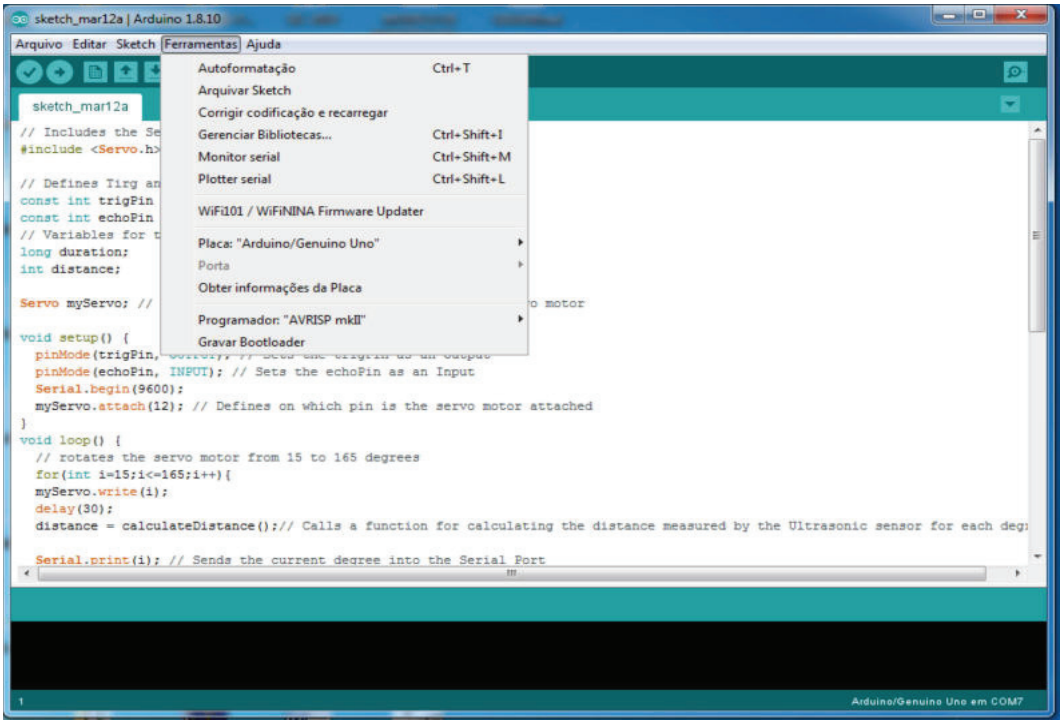
A última versão do IDE é Arduino 1.8.10, depois de baixado (normalmente na pasta downloads o tamanho aproximado é maior de 100MB). Clicando sobre o arquivo arduino-builder descarregado é possível realizar a instalação padrão, ver figura 37.

Figura 37 – Arquivo instalador do IDE Arduino. Fonte: Elaborada pelo autor.

Fonte - [25]

Clicando no atalho gerado do windows ou do linux na área de trabalho, aparecerá a interface IDE Arduino, ver Figura 38, onde são desenvolvidos todos os programas e feito a interação com a placa Arduino Uno Rev. 3.

Figura 38 – Ambiente de Desenvolvimento Integrado IDE do Arduino para inserir programas e fazer a interação com a placa Arduino. Fonte: Elaborada pelo autor.



Fonte - [25]

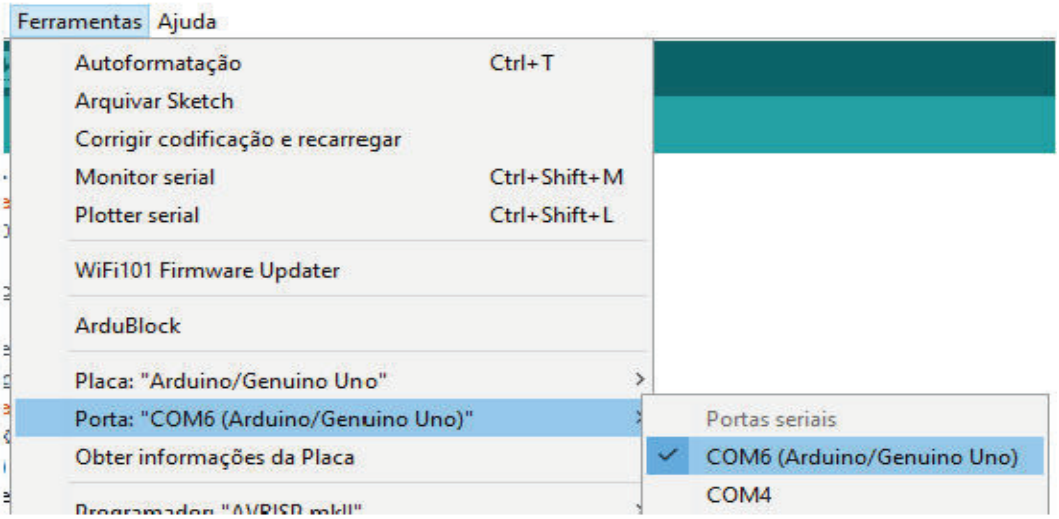
A interface IDE Arduino é bem intuitiva, entretanto, mostraremos suas principais funções.

3.3 Conexão entre o IDE e placa Arduino Uno

O primeiro ponto a ser observado ao utilizar a IDE Arduino é a sua conexão com a placa Arduino. Ao conectar a placa ao computador com o cabo USB, ela é reconhecida automaticamente e aparecerá no menu Ferramentas o tipo de Arduino (opção placa) e por qual porta está conectado (opção porta) como mostra a Figura 39.

Observação: Essas opções devem ser escolhidas caso não apareçam automaticamente selecionadas ou caso esteja utilizando mais de uma porta.

Figura 39 – Opções de escolha do tipo de Arduino e porta USB conectada à placa.



Fonte - Autores.

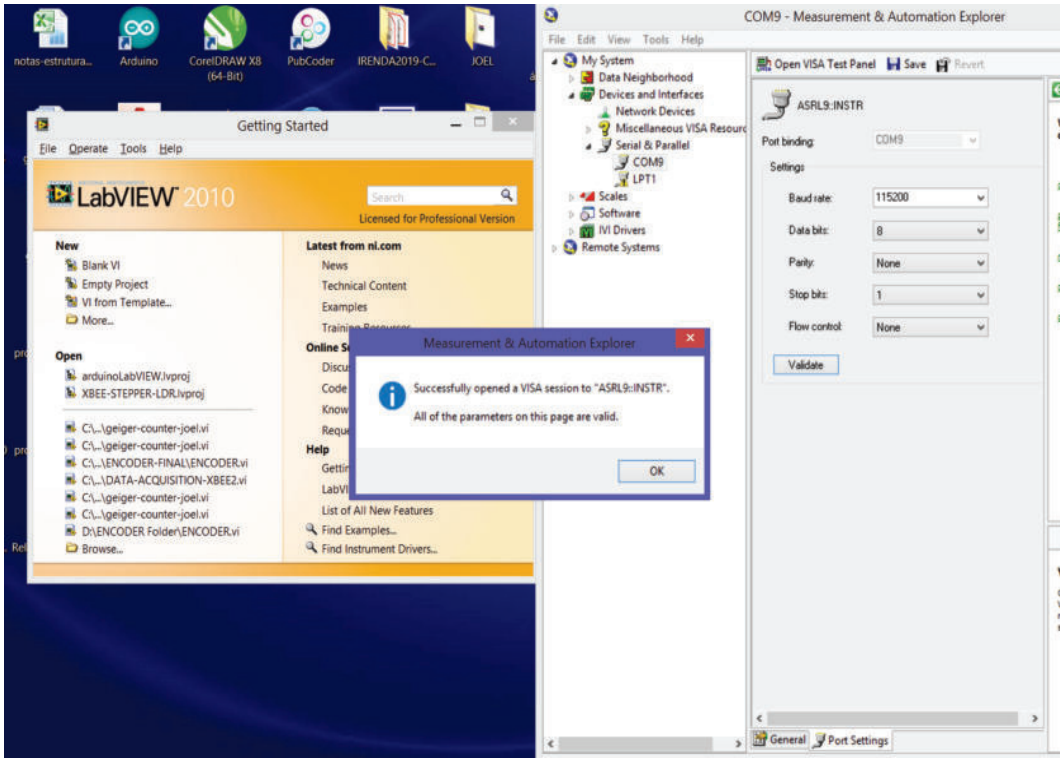
3.4 Comandos básicos e exemplos de códigos

No menu Arquivo, além dos itens básicos (Novo, Salvar...) há o item "Exemplos", no qual aprecem vários modelos de programas já prontos para diversas finalidades e vários outros itens.

3.5 O Ambiente de Desenvolvimento de sistemas e linguagem de programação gráfica Labview

O LabView (acrônimo para Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) é uma plataforma de design de sistema e ambiente de desenvolvimento para uma linguagem de programação visual (chamada de "G"), da National Instruments. A programação é feita de acordo com o modelo de fluxo de dados, o que oferece a essa linguagem vantagens para a aquisição de dados e para a sua manipulação [26]. A figura 40 mostra uma captura de tela do ambiente do software.

Figura 40 – Software Labview versão 2010 32 bits.



Fonte - Autores.

É um software proprietário e está disponível para uma variedade de sistemas operacionais, incluindo o Microsoft Windows, várias versões do Unix, Linux e MacOS. É usado em uma variedade de aplicações e setores para aquisição de dados, controle de instrumentos, automação, análise e processamento de sinais devido, entre outras vantagens, a sua facilidade de suporte para milhares de dispositivos, incluindo:

- instrumentos científicos;
- dispositivos para aquisição de dados;
- sensores;
- câmeras;
- motores e atuadores.

E possui centenas de funções e algoritmos especializados, para:

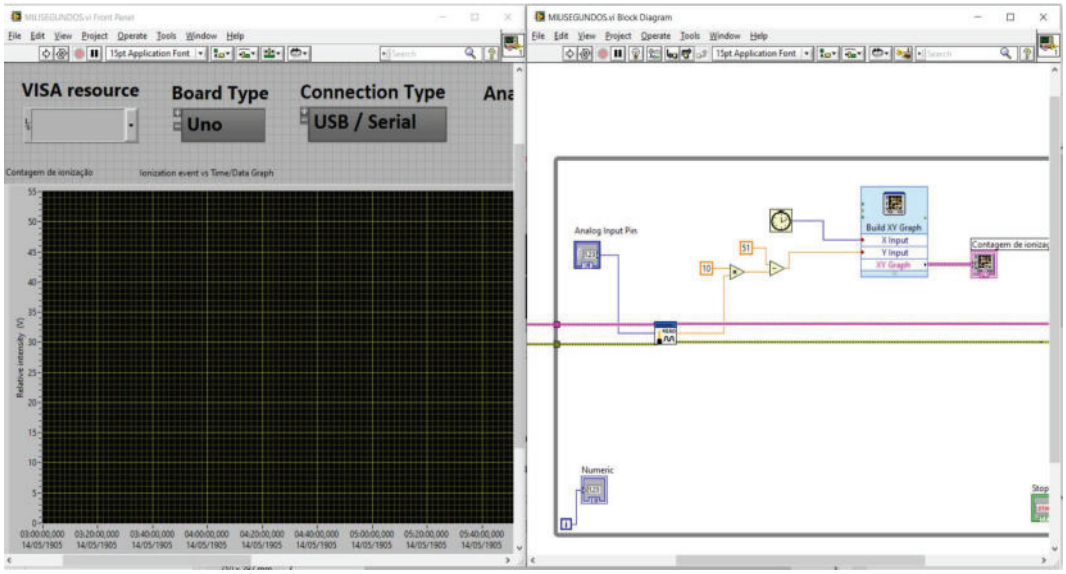
- Manipulação de strings, arrays e formas de onda;
- Processamento de sinal, incluindo filtros, janelamento, análise espectral e transformadas;
- Análise matemática, incluindo ajuste de curvatura, estatísticas, equações diferenciais;
- Álgebra linear e interpolação;

- Comunicação, incluindo protocolos para comunicação em alto nível, tais como HTTP, SMTP, FTP, TCP, UDP, Serial e Bluetooth;
- Geração de relatórios, E/S de arquivos e conectividade com banco de dados.

Portanto, na área científica, é muito útil nos laboratórios para a criação de aplicações customizadas que interagem com os dados ou sinais do mundo real, facilitando a realização de experimentos [27].

Os programas no LabView são feitos em linguagem G e são denominados de instrumentos virtuais, ou VIs, porque sua aparência e modo de operação lembram os instrumentos físicos. Quando um programa é criado, aparecem duas janelas: a janela do painel frontal e o diagrama de blocos, como pode ser visto na Figura 41.

Figura 41 – Painel frontal e diagrama de blocos do LabVIEW.



Fonte - Autores.

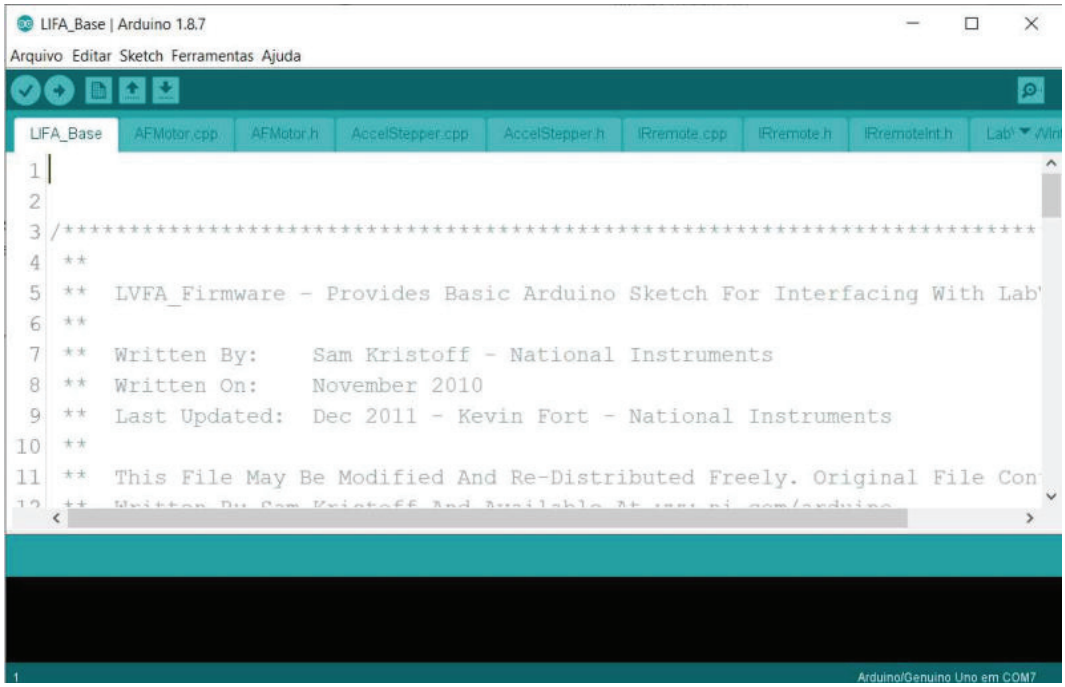
Ao mesmo tempo em que o programa é construído no diagrama de blocos, surgem no painel de controle, que é a interface do usuário com os Vis, botões de controles, indicadores, gráficos, tabelas, etc., correspondentes ao que foi inserido na programação. Todos eles são customizáveis, ou seja, podem ser alterados tamanho, unidades, escalas, etc. Outra característica do LabView é poder exportar os valores dos dados recebidos para outras plataformas [28, 29].

3.6 Interface Labview para Arduino (LIFA)

A ferramenta LabView para Arduino (LIFA BASE), Figura 42, é um download gratuito, para quem já possui o LabView e consiste de um tolkit ou caixa de ferramentas (neste caso subprogramas), que permite aos programadores adquirirem dados do microcontrolador Arduino

e processá-los no ambiente de programação gráfica LabView. A LIFA fornece uma interface fácil de usar para os microcontroladores da plataforma.

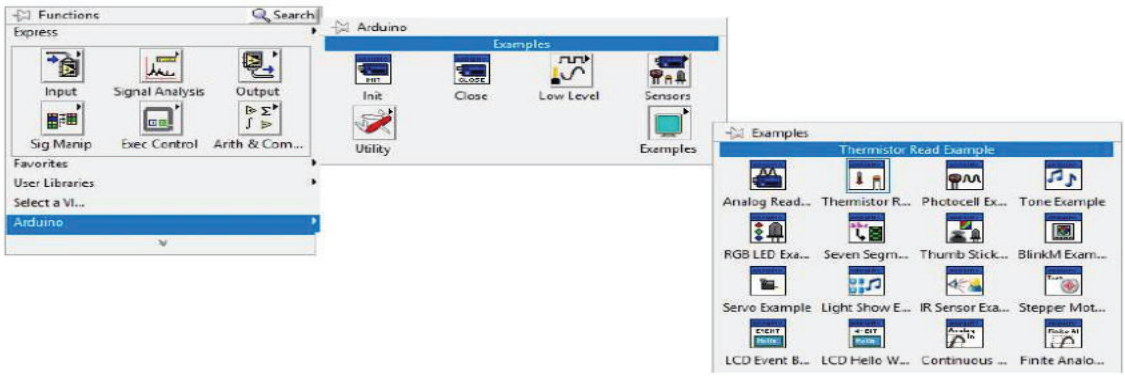
Figura 42 – LIFA BASE instalado na plataforma Arduino.



Fonte - Autores.

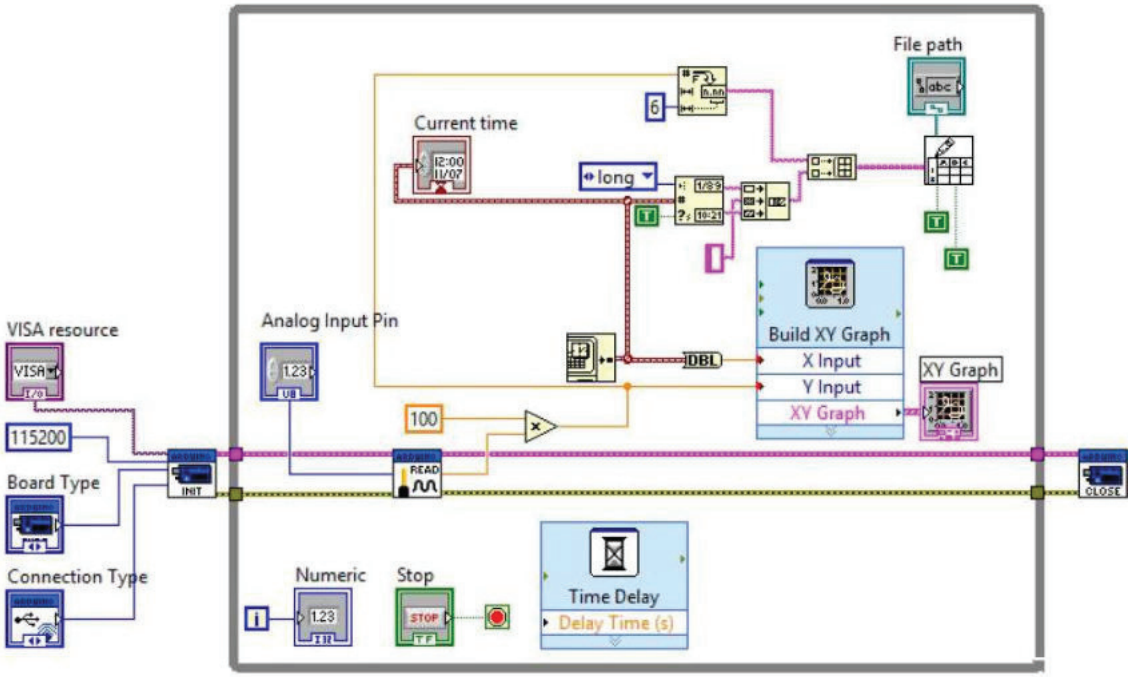
A LIFA permite que você crie, de forma rápida e fácil, interfaces gráficas de usuário para praticamente qualquer componente que seja compatível com as placas de hardware da plataforma Arduino. Esse conjunto de ferramentas de código aberto, para que é proprietário do labview, é feito para personalização, permitindo aos usuários criar drivers personalizados para seus sensores. Na Figura 43, são mostradas algumas opções de componentes e exemplos que o LIFA disponibiliza e na Figura 44, apresenta-se um exemplo construído utilizando componentes disponibilizados no LIFA.

Figura 43 – Opções de componentes e exemplos disponibilizados pelo LIFA.



Fonte - Autores.

Figura 44 – Exemplo de diagrama de bloco construído com auxílio do LIFA.

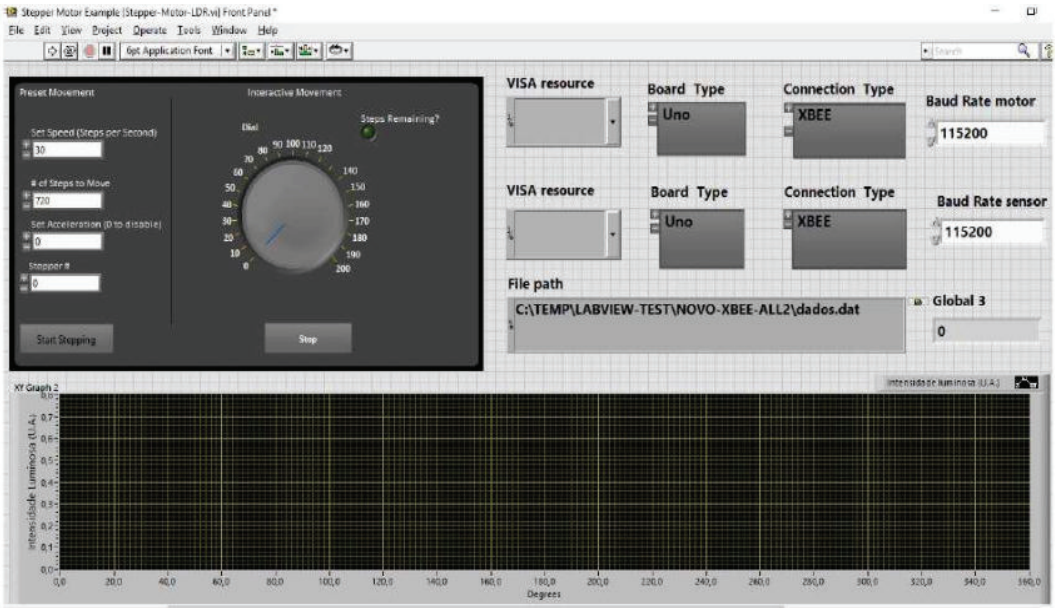


Fonte - Autores.

Apesar de todos os exemplos desenvolvidos nesse trabalho poderem ser realizados apenas com a plataforma Arduino e componentes eletrônicos compatíveis, utilizamos o software LabView e a ferramenta LabView para Arduino (LIFA) que facilitaram a realização dos projetos por conta de toda uma programação com rotinas e sub-rotinas que já foram desenvolvidas e são compatíveis com o Arduino. Assim, quando inserimos um instrumento virtual (Vi) no diagrama de blocos, além de aparecer no painel frontal o controle correspondente, já vem toda uma sequência de comandos embutidos de modo a acelerar a programação. Outra vantagem é que uma vez instalado o LIFA BASE no labview, com a utilização do IDE, isso é suficiente para construir programas variados de controle e automação na aquisição de dados sem necessidade de fazer mais nenhuma alteração, pois toda a programação é construída e comandada pelo LabView.

A figura 11 mostra um painel frontal geral com controles de comandos, conexões e velocidade de comunicação(Baud Rate) com o arduino. Na figura 12, temos uma parte do diagrama de blocos correspondente ao painel frontal de um código em labview que usa o toolkit LIFA.

Figura 45 – Painel de controles do labview.



Fonte - Autores.

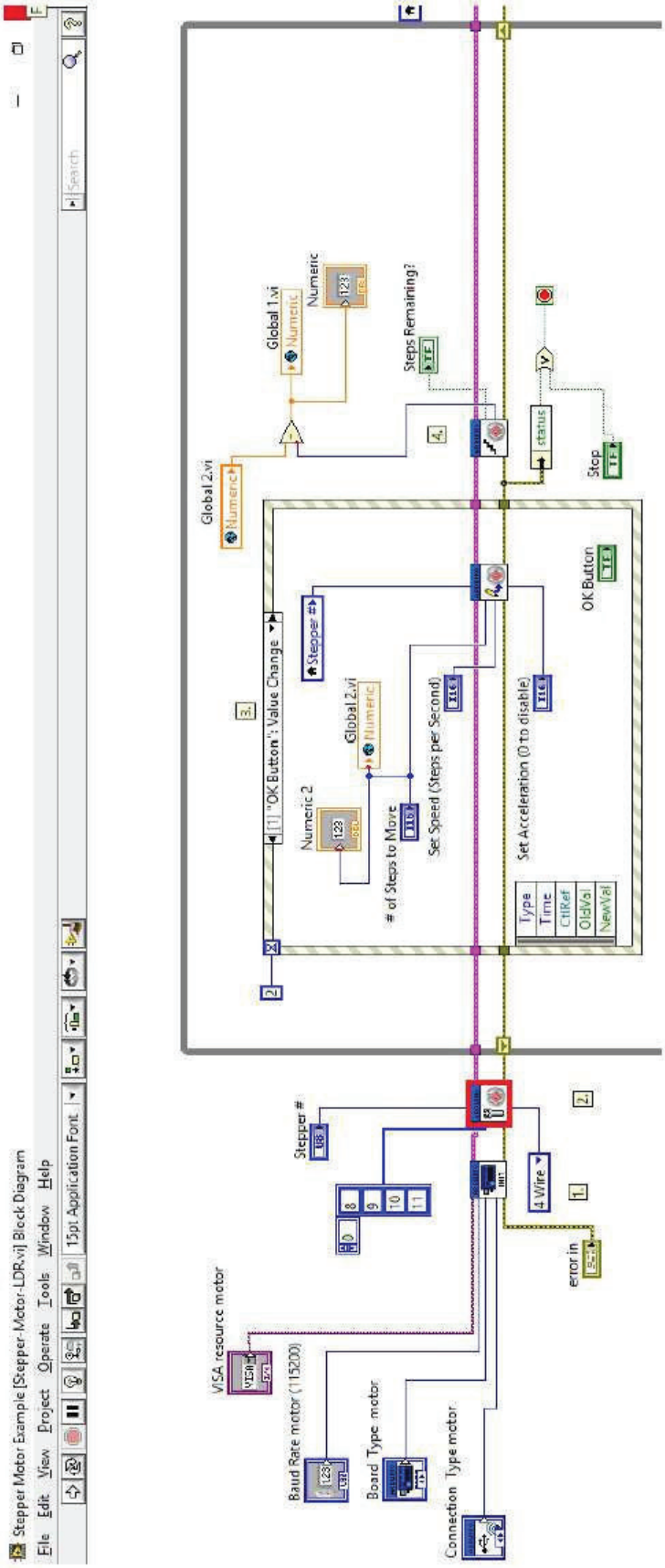


Figura 46 – Diagrama de blocos com LIFA.

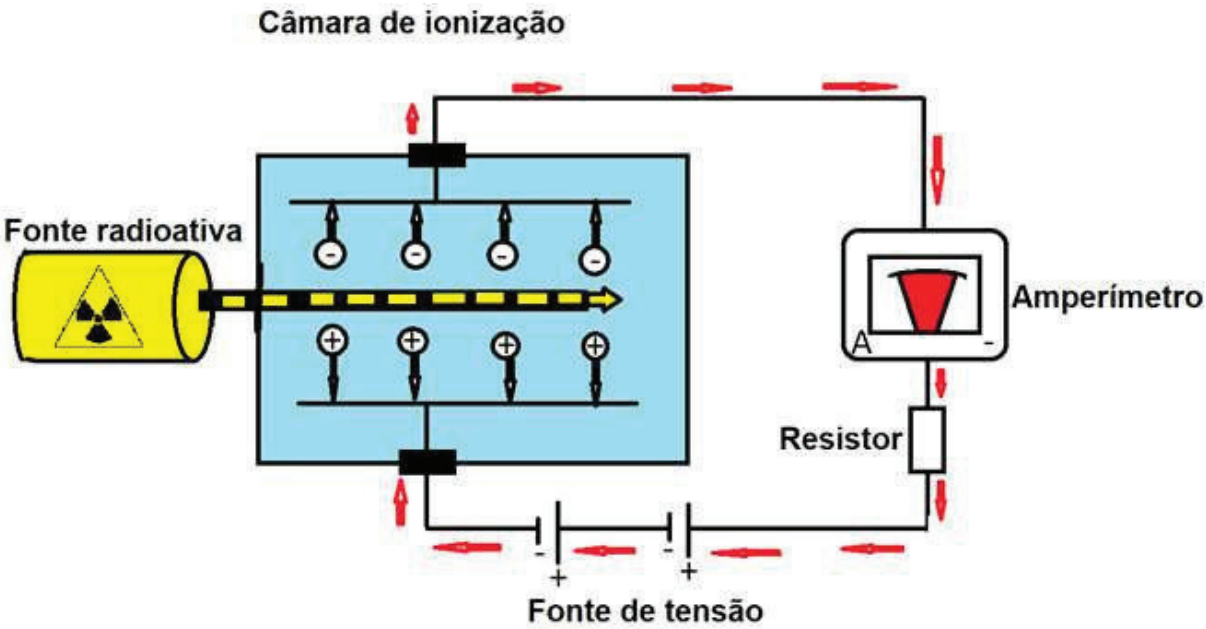
Fonte - Autores.

4 Os sistemas de detecção de radiação ionizante

4.1 Câmara de Ionização

As câmaras de ionização são detectores simples que medem as cargas depositadas pela partícula carregada ao atravessar o meio ionizado que tanto pode ser um gás como um líquido ou mesmo um sólido, cada um tendo as suas vantagens e as suas aplicações [31]. A figura 13 mostra uma simples câmara de ionização, usada como detector de fumaças na prevenção de incêndios.

Figura 47 – Amperímetro conectado a camâra de ionização para detectar a corrente gerada por uma fonte radioativa.



Fonte - Autores.

Uma partícula carregada ou um feixe de onda suficientemente energético é capaz de tirar os elétrons dos átomos do meio atravessado, este processo é denominado ionização, razão do nome da câmara. Uma das aplicações da câmara de ionização está na medicina nuclear para determinar a exata atividade do tratamento terapêutico [33].

4.1.1 Confecção da câmara de ionização

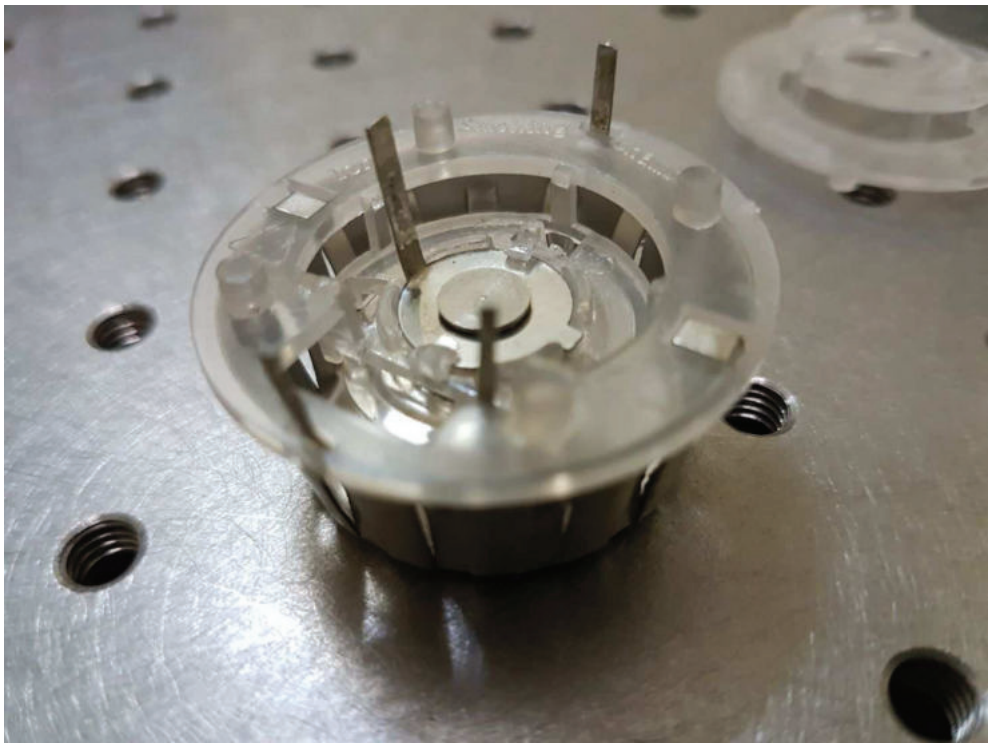
Os materiais de baixo custo utilizados para confeccionar os kits podem ser encontrados facilmente em sucatas, em lojas de componentes eletrônicos ou lojas virtuais. Como fonte radioativa foi empregado o radioisótopo Amerício 241, usado como detector de fumaça além de

eventos de ionização diversos. As figuras 48, 49 e 50, mostram várias imagens de uma câmara de ionização comercial contendo o Am-241.

Figura 48 – Câmara de ionização comercial, vista superior.

Fonte - Labmade.

Figura 49 – Câmara de ionização comercial e eletrodos. vista inferior (interior da câmara).



Fonte - Labmade.

Figura 50 – Eletrodo metálico desmontado da câmara de ionização comercial contendo **Am-241.**

Fonte - Labmade.

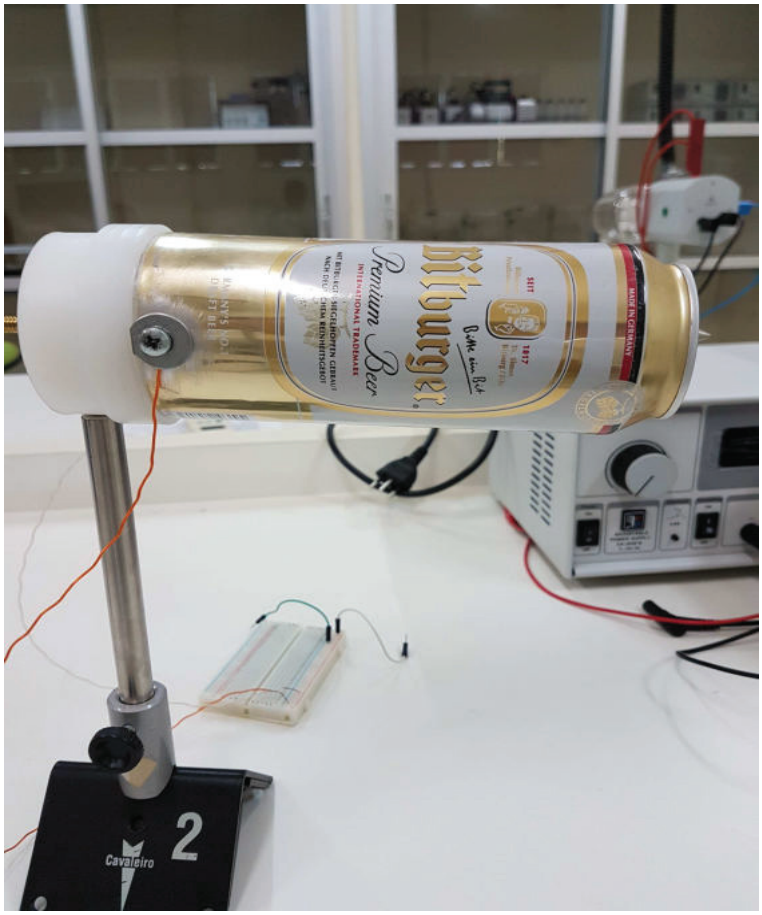
Com intuito de mostrar o funcionamento e a estrutura de uma câmara de ionização, de forma a caracterizar um produto educacional, foi construída uma câmara de ionização de dimensão maior que as câmaras de ionização comerciais mostradas nas figuras 14 e 15. Para a construção da câmara de ionização foram empregados os seguintes materiais:

- uma lata de alumínio utilizada para envasar refrigerante;
- uma base de Teflon usinada a torno com encaixe de fixação para a base da lata de refrigerante;
- uma haste metálica cromada com rosca para fixação na base de teflon, usada como eletrodo central;
- um suporte metálico para a haste metálica.

Como elemento principal foi empregada uma lata de refrigerante donde as duas bases circulares foram cortadas e o interior do cilíndro metálico foi lixado e polido para retirar a camada de material polimérico que é usado como protetor. Em seguida foi construída uma base circular de Nylon com um encaixe para fixar a lata de refrigerante. A base foi usinada a torno e possui também um orifício com rosca para fixar a haste metálica e outros orifícios para parafusos que são empregados como contatos elétricos. A figuras 51, 52, 53 e 54 mostram fotografias do sistema construído.

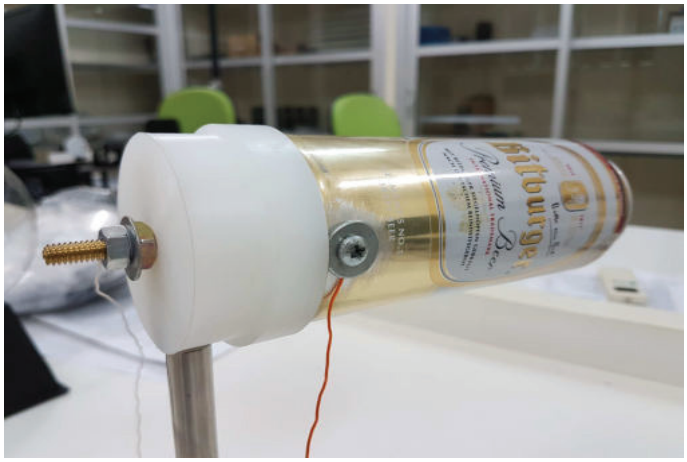
Para poder testar a câmara de ionização é necessário aplicar uma diferença de potencial entre os terminais do sistema. Isto pode ser feito com uma fonte de tensão variável de laboratório ou com uma fonte de tensão programável. A corrente gerada pelos eventos de ionização produz uma pequena corrente que pode ser detectada por um eletrômetro.

Figura 51 – Câmara de ionização construída pelo autor evidenciando seus componentes: uma lata de alumínio, uma base de Teflon, uma haste metálica cromada, um suporte.



Fonte - Labmade.

Figura 52 – Vista lateral da câmara de ionização construída.



Fonte - Labmade.

Para as medidas de tensão versus corrente foram empregados os seguintes instrumentos:

- uma fonte de tensão variável de laboratório;

Figura 53 – Vista do interior da câmara de ionização construída, mostrando o eletrodo central.

Fonte - Labmade.

- um eletrômetro programável modelo Keithley 6514;
- uma fonte de tensão variável programável modelo Agilent DC E3645A;
- um sistema de interface GPIB-USB;
- um sistema de interface GPIB.

4.1.2 Câmara de ionização com fonte de tensão variável

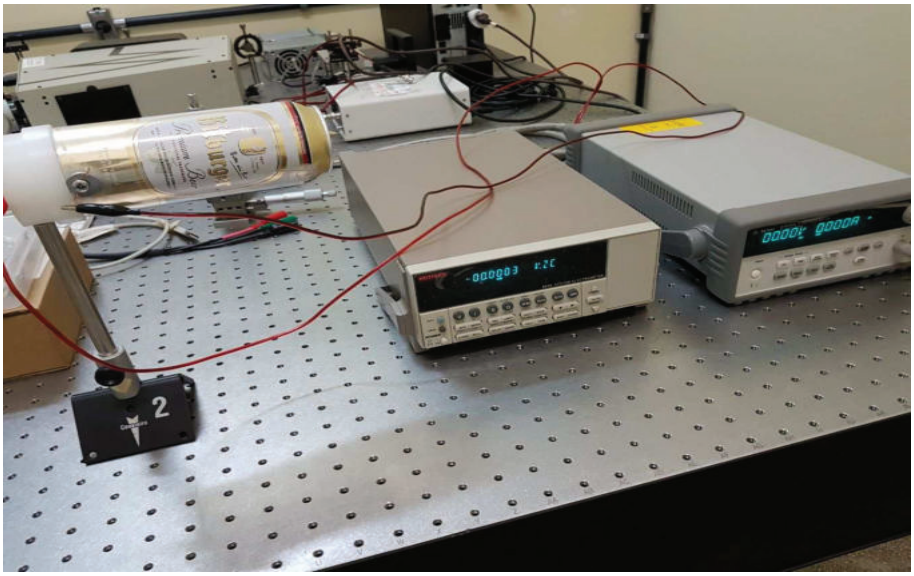
A câmara de ionização inicialmente foi testada com uma fonte de tensão variável padrão de laboratório (0 VDC - 30 VDC), com um eletrômetro modelo Keithley 6514 e o meio ionizado foi o ar presente no interior da lata. As correntes detectadas são extremamente pequenas da

Figura 54 – Sistema experimental para teste da câmara de ionização construída. É usada uma fonte de tensão variável padrão de laboratório e um eletrômetro Keithley 6514.

Fonte - Labmade.

ordem de 10^{-15} A. A figura 55, mostra uma imagem do sistema de medição montado no laboratório.

Figura 55 – Um eletrômetro programável modelo Keithley, uma fonte de tensão programável modelo Agilent, um sistema de interface GPIB

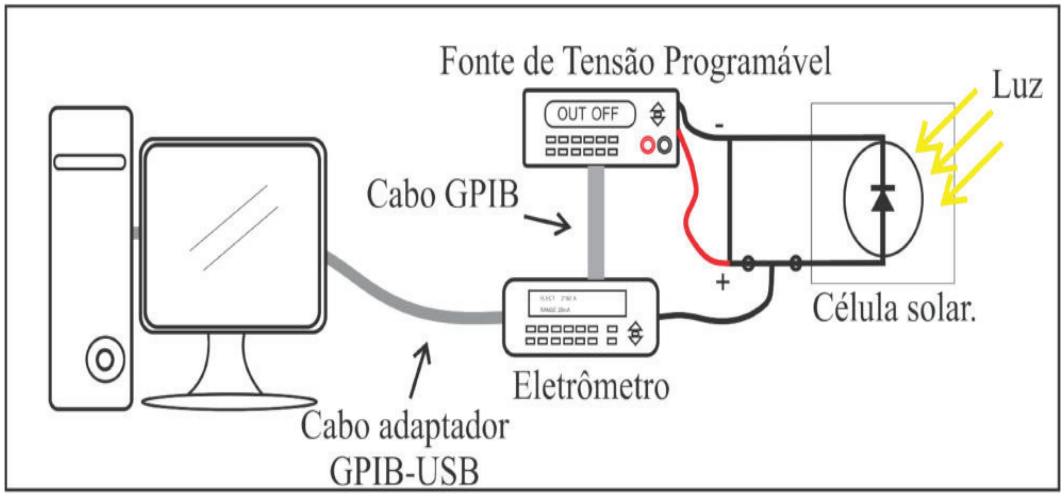


4.1.3 Câmara de ionização com sistema de aquisição de dados

A câmara de ionização também foi testada com um sistema de aquisição de dados de medidas I×V desenvolvido em 2013 no Labmade em trabalho de Conclusão de Curso de Graduação [34]. O sistema usa um código de aquisição de dados em Labview, uma fonte

de tensão programável Agilent DC E3645A, um eletrômetro programável Keithley 6514 e os equipamentos estão conectados através da interface General Purpose BUS - USB com um computador no qual encontra-se o aplicativo de aquisição de dados. O esquema do sistema experimental é mostrado na figura 56.

Figura 56 – Sistema de aquisição de dados IxV utilizado para as medidas de tensão corrente usando uma câmara de ionização. No diagrama a célula fotovoltaica é substituída pelo sensor de ionização.



Fonte - [34].

Novamente foi verificado que as corrente produzidas são extremamente pequenas, no entanto detectáveis. A intensidade das variações de corrente dependem da atividade das amostras. As fontes de Am-241 possuem baixa atividade e o uso do sistema total como produto educacional é um pouco limitado devido a que um eletrômetro programável é um instrumento extremamente caro para poder ser encontrado em centros de ensino médio e até em cursos de graduação.

5 O detector com base no sensor Geiger-Müller SI-22G

5.1 Materiais

Um contador de radiação Geiger-Müller detecta a presença de radiações ionizantes (partículas alfa, beta, radiação gama e raios X), usando a capacidade que as partículas radioativas têm de ionizar certas moléculas (isto é, retirar alguns de seus elétrons). O aparelho consiste em um cilindro contendo pequenas quantidades de gás (normalmente argônio), o qual é submetido a uma alta tensão elétrica que mantém a parede do tubo negativa em relação a um fio positivo que corre ao longo do seu eixo.

Quando os entes altamente energéticos entram em contato com os átomos de argônio, convertem alguns deles em íons positivos, isto é, menos elétrons no átomo. Sob a ação do campo elétrico, os íons migram para a parede do cilindro e os elétrons para o fio. Essa dupla migração causa um pulso de corrente que é transmitida a um amplificador fazendo funcionar um pequeno altofalante que produz um "clic", ou fazendo acender um pequeno led para que seja percebida a presença da radiação ionizante. Quanto mais partículas radioativas houver, maior será a corrente elétrica pulsante.

O primeiro modelo desse aparelho foi apresentado em 1912 pelo físico alemão Hans Wilhelm Geiger (1882-1945), daí seu nome. Outros modelos, mais modernos, têm outras estruturas, mas baseiam-se no mesmo princípio apresentado no início do século passado. O contador Geiger-Müller não diferencia os tipos de radiação que nele chegam; somente registra o valor de contagens total, sendo essa sua principal desvantagem.

Para a construção do detector de radiação com contador Geiger-Müller foram empregados os seguintes materiais:

- Um tubo Geiger-Müller modelo SI-22G de fabricação Russa;
- Uma fonte de tensão de computador de 12 volts;
- Uma módulo para elevação de tensão ajustatável de entrada 5 VDC a 12 VDC e saída 280 VDC a 1200 VDC;
- Um regulador de tensão feito com LM317;
- Duas placas de prototipagem eletrônica Arduino Uno revisão 3;
- Um transistor para amplificação (configuração Darlington TIP122);
- Leds, Buzzer, protoboard, jumpers;

- Suporte para o sensor SI-22G;
- Software National Instruments Labview 2010 32 bits;
- Como fonte de radiações ionizantes foi empregado o radioisótopo Am-241.
- Camisas de lampião de rayon contendo nitrato de tório.
- O sensor de ionização (tubo Geiger-Müller);
- uma fonte de alimentação de alta tensão contínua;
- um sistema de alerta visual/sonoro.

5.2 Idealização do sistema de detecção

Foram construídos dois protótipos de sistema de detecção de radiações ionizantes:

- Um sistema de detecção com alerta visual e sonoro de eventos de ionização;
- Um sistema de detecção com aquisição de dados e visualização gráfica da distribuição de eventos de ionização.

5.2.1 Sistema de detecção com alerta visual e sonoro

Um sistema de detecção de eventos de ionização com base em um sensor geiger-müller genérico é mostrado na figura 57.

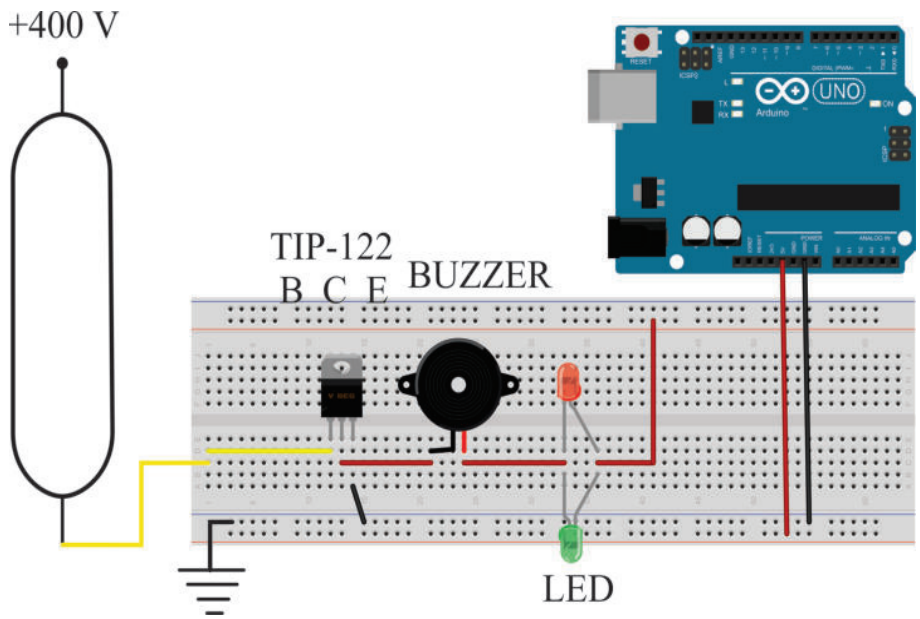
Com esta estrutura básica foram construídos três sistemas de detecção com alerta visual sonoro, variando apenas a fonte de alimentação.

5.2.2 Detector com fonte de laboratório

A figura 58 mostra o esquema para o primeiro tipo de sistema de detecção construído, ele é a versão mais simples de um sistema de detecção de radiação ionizante: é formado por uma fonte de alimentação de alta tensão de laboratório, o sensor Geiger-Müller, e o sistema de alerta visual/sonoro, que emite simultaneamente pulsos de luz através de um diodo emissor de luz (led), e pulsos sonoros através de um buzzer quando a corrente produzida por eventos de ionização detectados passa através deles.

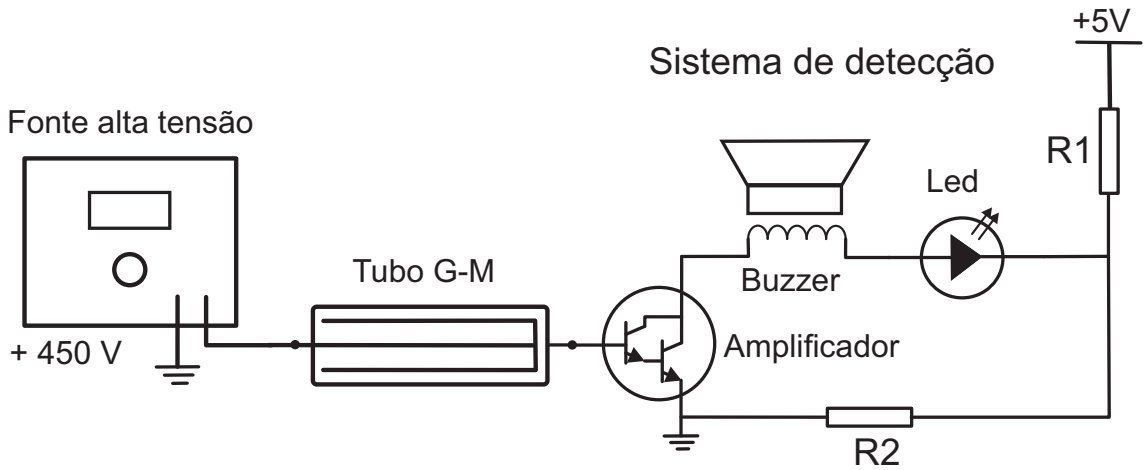
O sinal visual/sonoro é muito baixo e para se perceber a presença da radiação, foi adaptado um transistor TIP 125, para aumentar a intensidade do sinal. Para regular a tensão foram utilizados dois resistores de 1 kΩ cada. A fonte empregada neste primeiro protótipo vai de 0 VDC a 4000 VDC e é uma fonte de alimentação frequentemente usada em experimentos que precisam de alta tensão. Entretanto o seu emprego em um detector de radiação é de uso prático limitado devido ao seu tamanho e peso.

Figura 57 – Esquema que mostra a implementação de um circuito simples de detecção de eventos de ionização com base em um sensor do tipo Geiger-Müller.



Fonte - Labmade.

Figura 58 – Esquema do detector de ionização com alerta visual/sonoro e fonte de alimentação portátil.



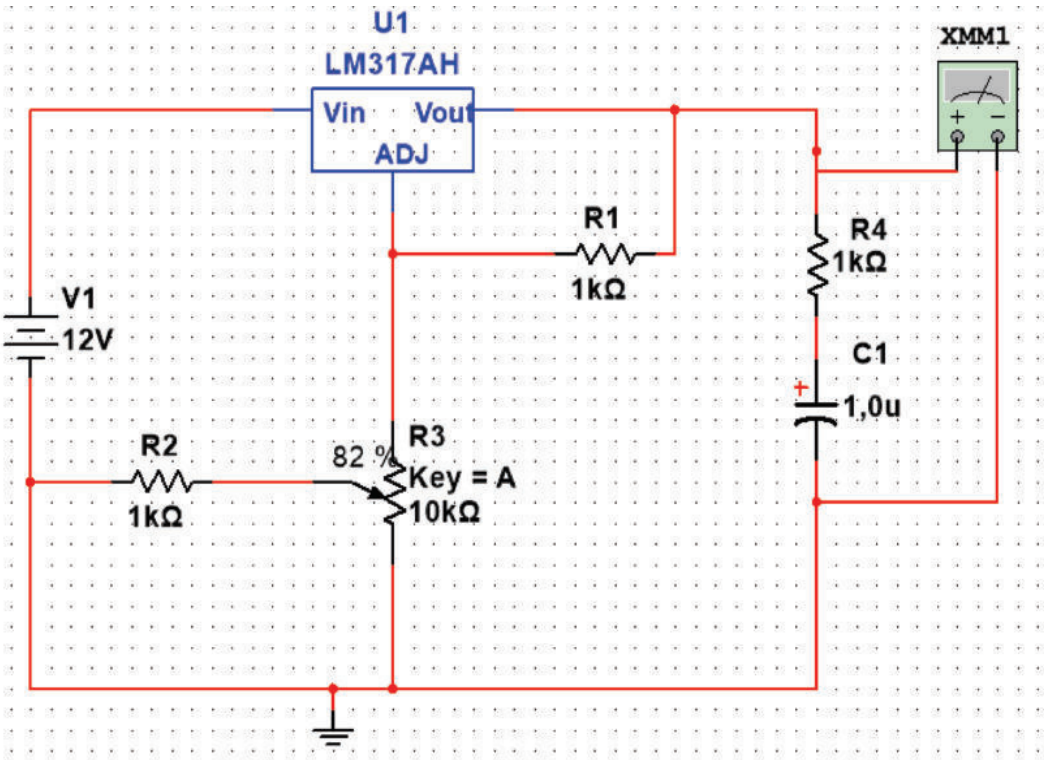
Fonte - Autores.

5.2.3 Detector com módulo elevador de tensão

O sistema de detecção inicial foi modificado para empregar uma fonte de tensão portátil de uso mais prático. Para isto foi empregado um módulo elevador de tensão contínua entrada DC saída DC do tipo boost step-up [36]. Ele possui entrada de 3,0 VDC a 5,0 VDC e saída de 3,0 VDC a 1200,0 VDC. Para fornecer a ele a tensão de entrada foi construído um circuito de tensão contínua variável com base em uma fonte de computador de 12,0 VDC. O circuito

do sistema regulador é mostrado na figura 59. O regulador de tensão ajustável, foi utilizado porque a saída de 5 V era elevada a casa de 800 v no módulo boost step-up e a tensão no sensor era de apenas 400 V. Ao ajustar o regulador em 3,3 V, a tensão de saída do módulo passou a ser de 400 V.

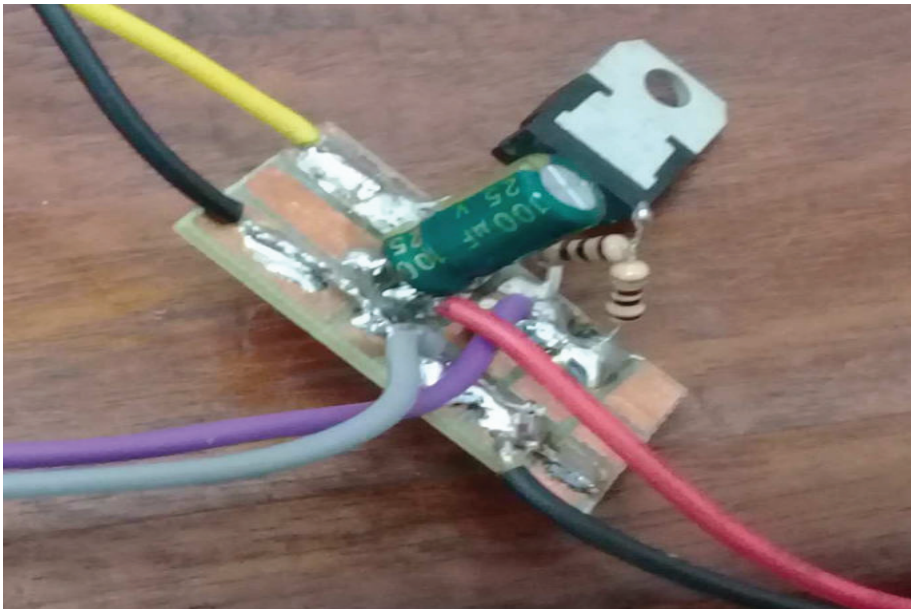
Figura 59 – O circuito regulador de tensão da figura recebe tensão de 12VDC de uma fonte de computador (representada pelos 12V) para controlar a tensão de entrada no módulo de elevador de tensão (não apresentado nesta figura). A tensão de saída deste regulador está entre 3V e 9V.



Fonte - Autores.

Uma fotografia do circuito físico é mostrado na figura 60.

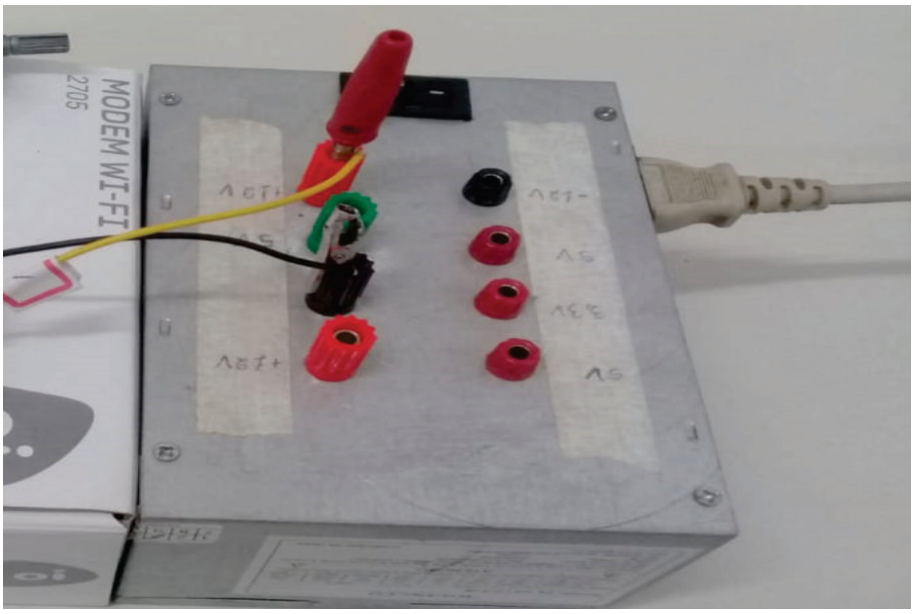
Figura 60 – Regulador de tensão composto de um transistor TIP 125, um capacitor de 100 μF e resistores.



Fonte - Labmade.

O sistema foi adaptado no interior de uma fonte de tensão de computador como mostrado na figura 61.

Figura 61 – Fonte de tensão de computador adaptada, foram usados bonners e um interruptor. Para o experimento foi usada a saída de 12 volts e corrente de 10 ampères.

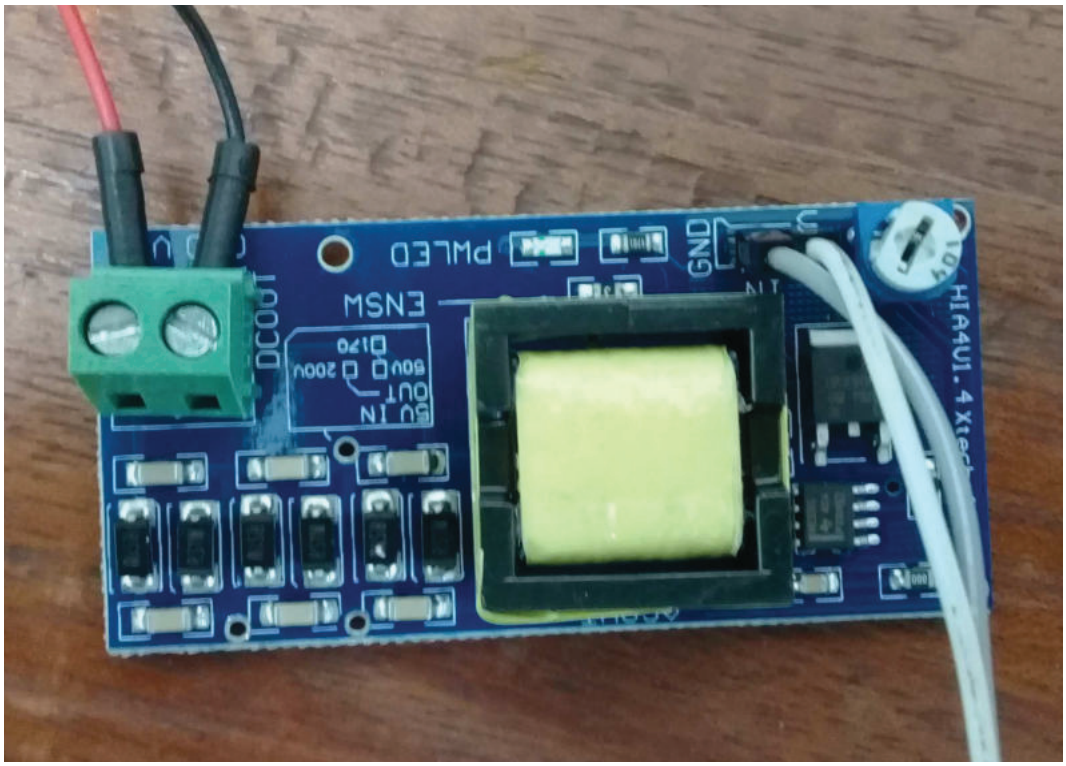


Fonte - Labmade.

A figura 62 mostra o módulo boost step-up. Um dispositivo boost step-up é um conversor de energia de corrente contínua para corrente contínua que aumenta a tensão (ao diminuir a corrente) da entrada até a saída (carga) [36]. É uma classe de fonte de alimentação

de modo comutado (switched-mode power supply) contendo pelo menos dois semicondutores (um diodo e um transistor) e pelo menos um elemento de armazenamento de energia: um capacitor, indutor ou os dois em combinação.

Figura 62 – Módulo elevador de tensão do tipo boost step-up.



Fonte - Labmade.

As características principais do módulo são: entrada de 3,0 VDC a 5,0 VDC e saída ajustável de 3 VDC a 1200 VDC, com corrente de saída de 2 mA a 20 mA. As dimensões do módulo são compactas, 25mm de largura por 48 mm de comprimento [35].

O sistema de aquisição de dados para a quantificação dos eventos de ionização detectados permite mostrar, de forma gráfica, os pulsos de tensão elétrica gerados em função do tempo. É realizado um contato elétrico na entrada do coletor do transistor TIP 122, para que o sinal analógico seja enviado à porta de entrada A0 da placa Arduino Uno rev. 3. A placa possui um micro controlador ATMega328p com um conversor digital de 10 bits de forma que os pulsos de tensão são convertidos em sinais digitais discretos no intervalo de 0 a 1024 (2^{10}). A placa Arduino é conectada a uma das portas seriais do microcomputador através da interface USB. O cabo de comunicação fornece alimentação de 5,0 VDC para funcionamento da placa, e a tensão aplicada ao coletor é obtida da saída de tensão da placa Arduino Uno.

A vantagem introduzida pelo módulo elevador é a praticidade de transporte devido ao seu tamanho muito reduzido (25mm de largura por 48 mm de comprimento). Simultaneamente a corrente fornecida por ele é de 2,0 mA a 20,0 mA, suficiente para o funcionamento do sensor Geiger-Müller. Outra vantagem é que pode ser comprado no Brasil através dos mercados globa-

lizados. Certamente o módulo poder ser desenhado e construído em acordo aos requerimentos do seu sistema, mas este módulo para propósito gerais é muito barato e de fácil obtenção através da internet.

O esquema do sistema de detecção de eventos de ionização com alerta visual/sonoro usando a fonte de tensão construída juntamente com o elevador boost step-up é mostrado na figura 63. A tensão de saída do elevador pode ser ajustada através de um potenciómetro presente no módulo.

5.2.4 Detector com tensão do Arduino e do módulo elevador

Alternativamente, foi também empregada como fonte de tensão contínua VDC para o módulo boost step-up, a saída de 3,3 VDC de uma placa Arduino Uno revisão 3, como mostrado na figura 64. Isto é possível devido ao relativo baixo custo de uma placa Arduino Uno e à estabilidade do sinal de tensão contínua fornecido. Nos três sistemas descritos foi empregada a saída de tensão de 5,0 VDC de uma outra placa Arduino Uno para alimentar o buzzer e o led. Uma fotografia da implementação física do sistema é mostrada na figura 65.

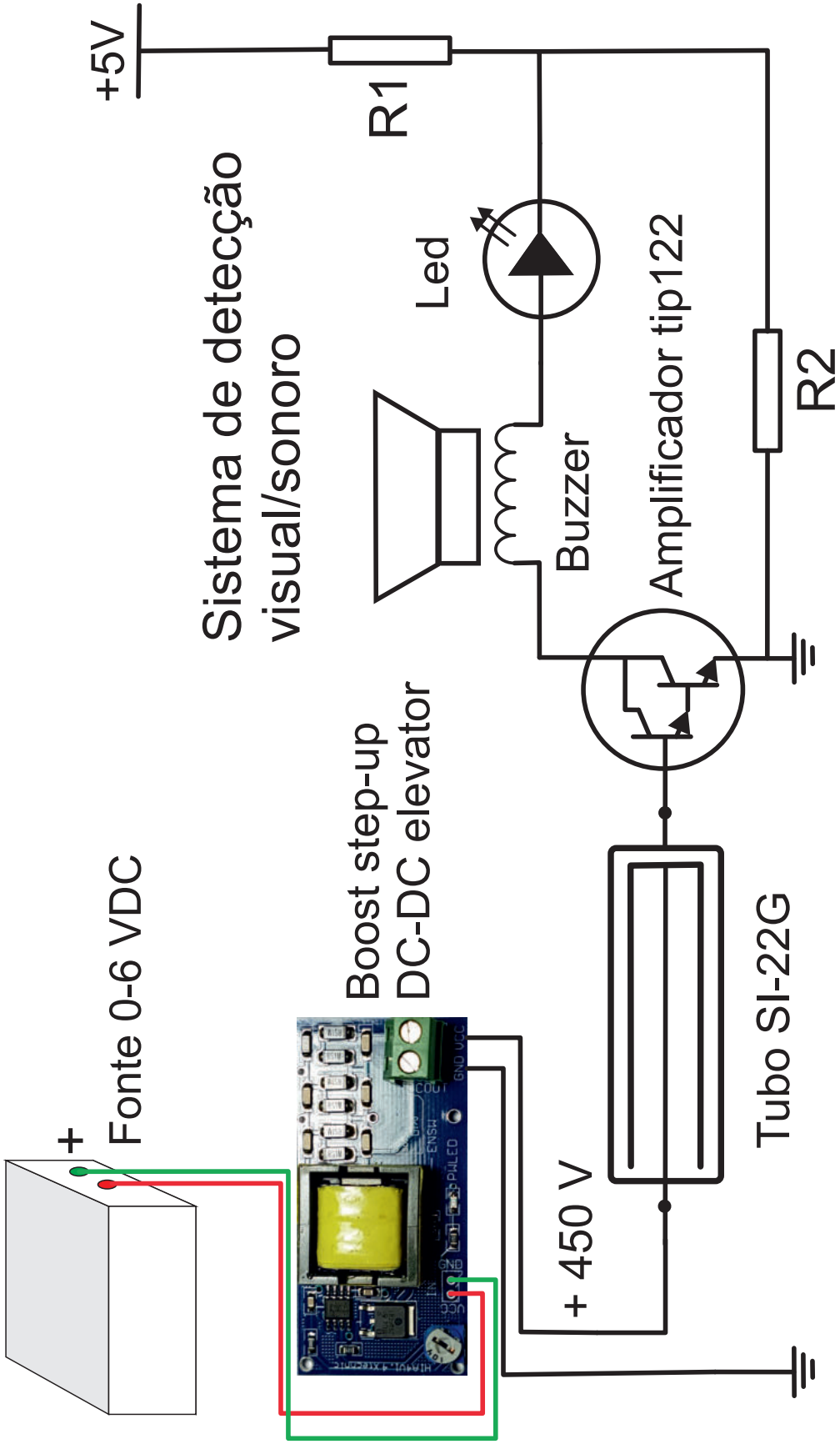
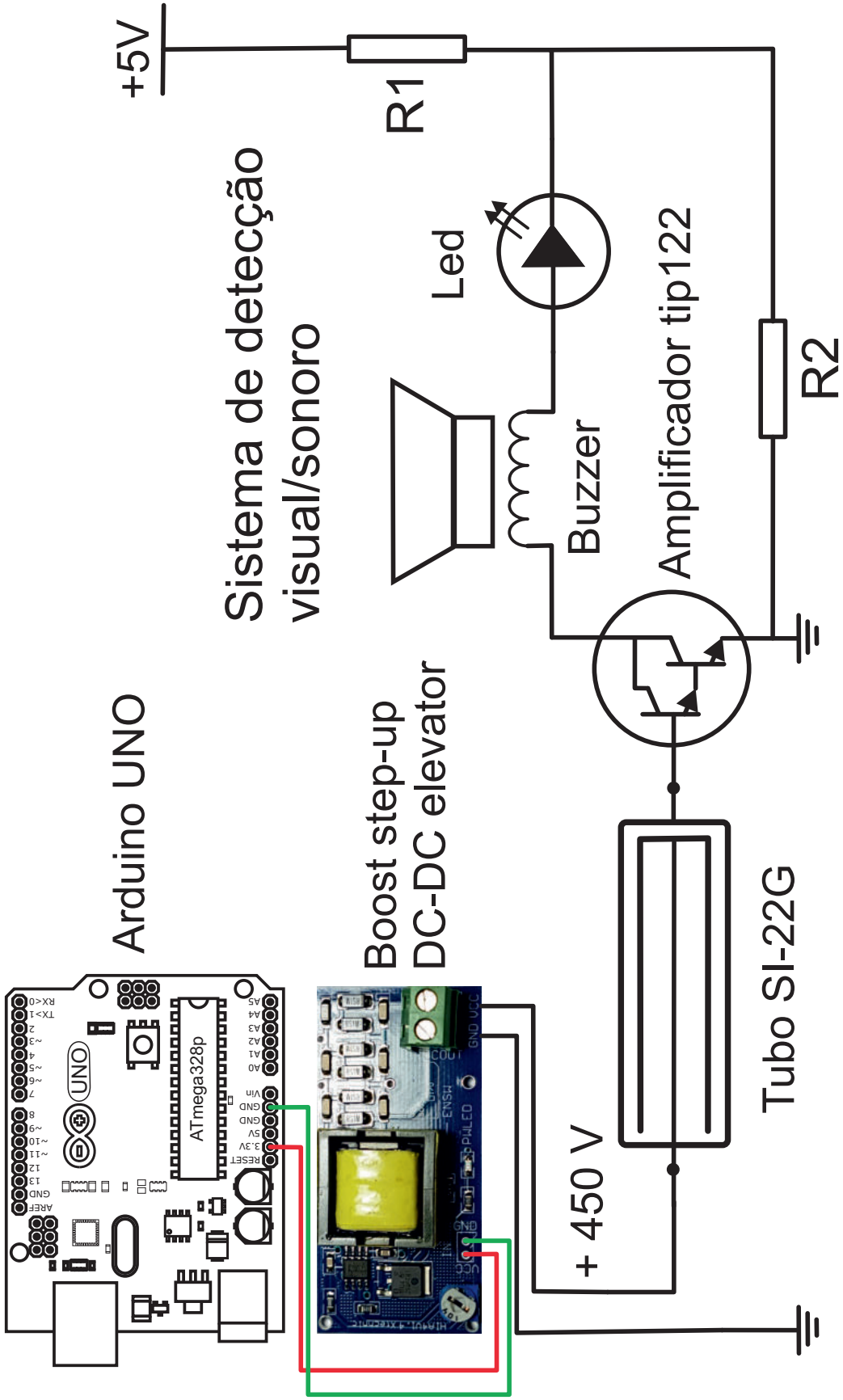


Figura 63 – Esquema do detector de ionização com alerta visual/sonoro e fonte de alimentação portátil.

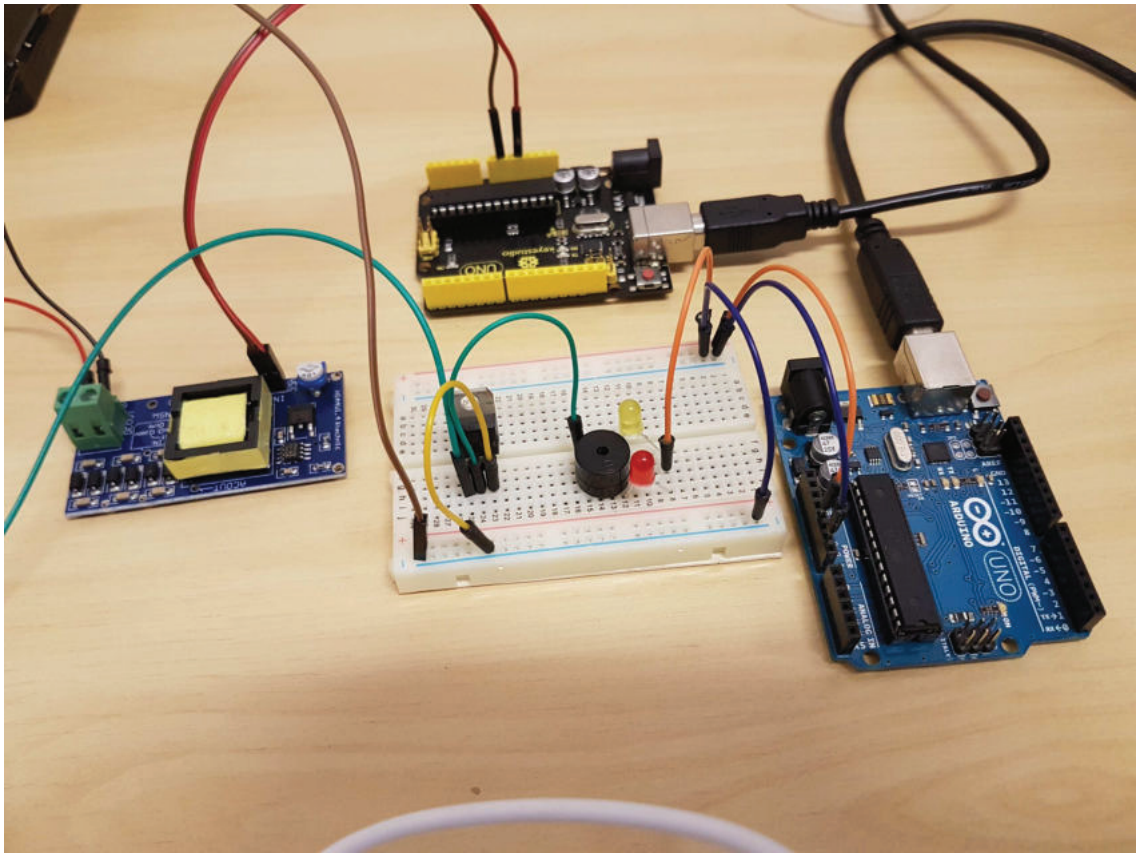
Fonte - Autores.



Fonte - Autores.

Figura 64 – Esquema do detector de ionização com alerta visual/sonoro alimentado por placa Arduino Uno e circuito boost step-up.

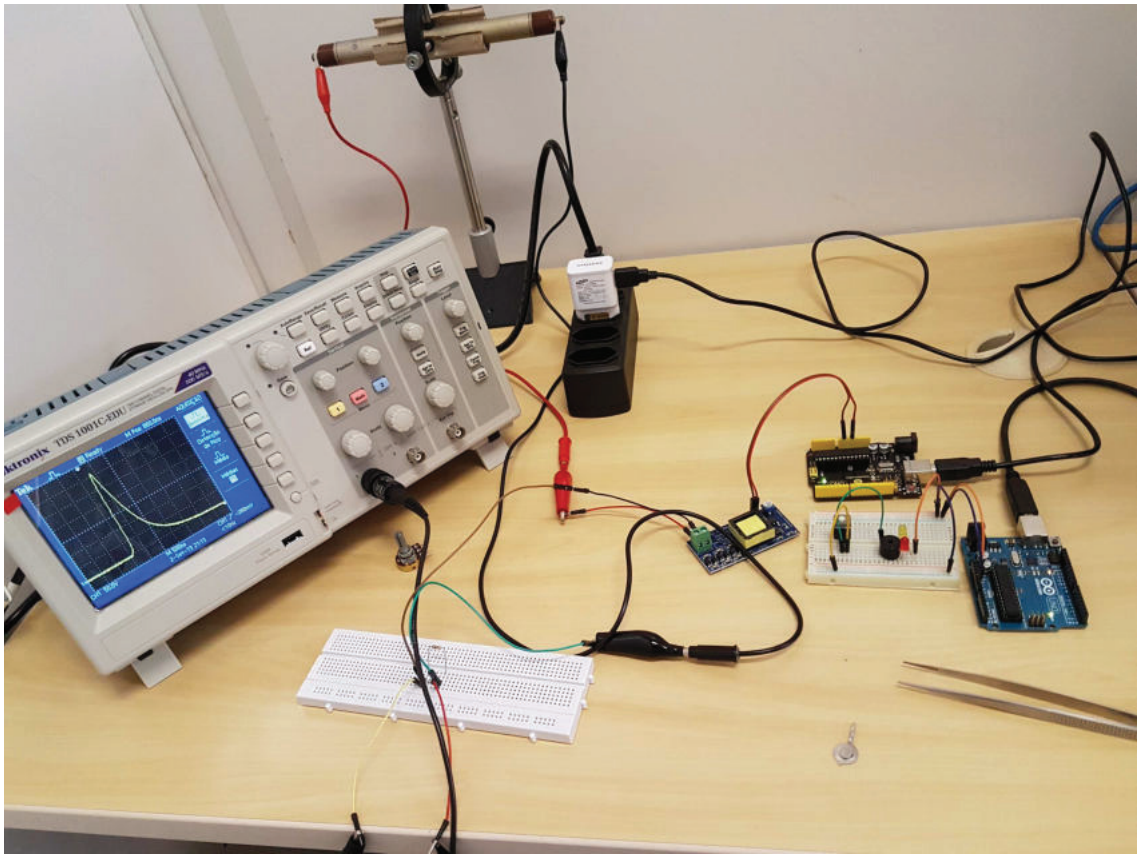
Figura 65 – Implementação física do detector de ionização com alerta visual/sonoro alimentado por duas placas Arduino Uno e o módulo boost step-up.



Fonte - Labmade.

A figura 32 mostra o sistema de detecção de eventos de ionização com alerta visual/sonoro completo: sensor Geiger-Müller, duas placas arduino, elevador de tensão, buzzer, led, transistor e conectores. O osciloscópio, que não faz parte do sistema, foi usado nas medições e construção de gráficos.

Figura 66 – Imagem mostrando o sistema completo.



Fonte - Labmade.

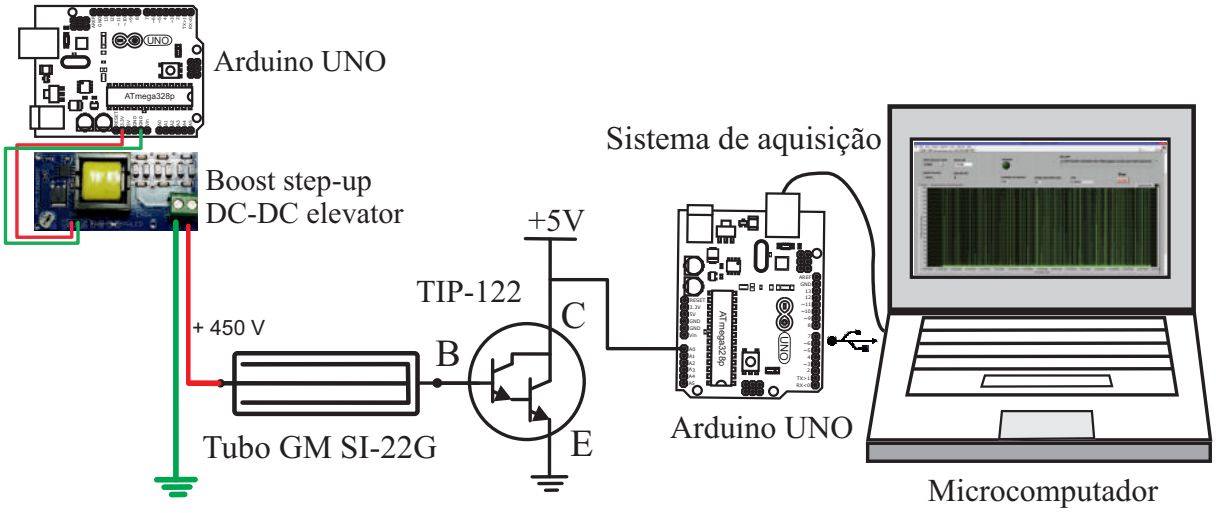
6 O detector com aquisição de dados

6.1 Concepção do sistema

O sistema de detecção de eventos de ionização com aquisição de dados, emprega basicamente os mesmos componentes do primeiro sistema desenvolvido na seção 3.2.4, que contava apenas com alerta visual/sonoro. A diferença é que foi adicionado um sistema de aquisição de dados para a quantificação dos eventos de ionização detectados e para mostrar, de forma gráfica, a distribuição, em função do tempo, dos pulsos de tensão elétrica gerados.

O esquema da concepção do sistema é mostrado na figura 67.

Figura 67 – Esquema que mostra o sistema de detecção de eventos de ionização com aquisição de dados completo.



Fonte - Autores.

No sistema mostrado, para a amplificação do sinal elétrico foi empregado um transistor amplificador de configuração Darlington do tipo NPN modelo TIP122 com ganho hFE 1000. Não foi necessário o uso de sistemas de filtragem e condicionamento do sinal analógico.

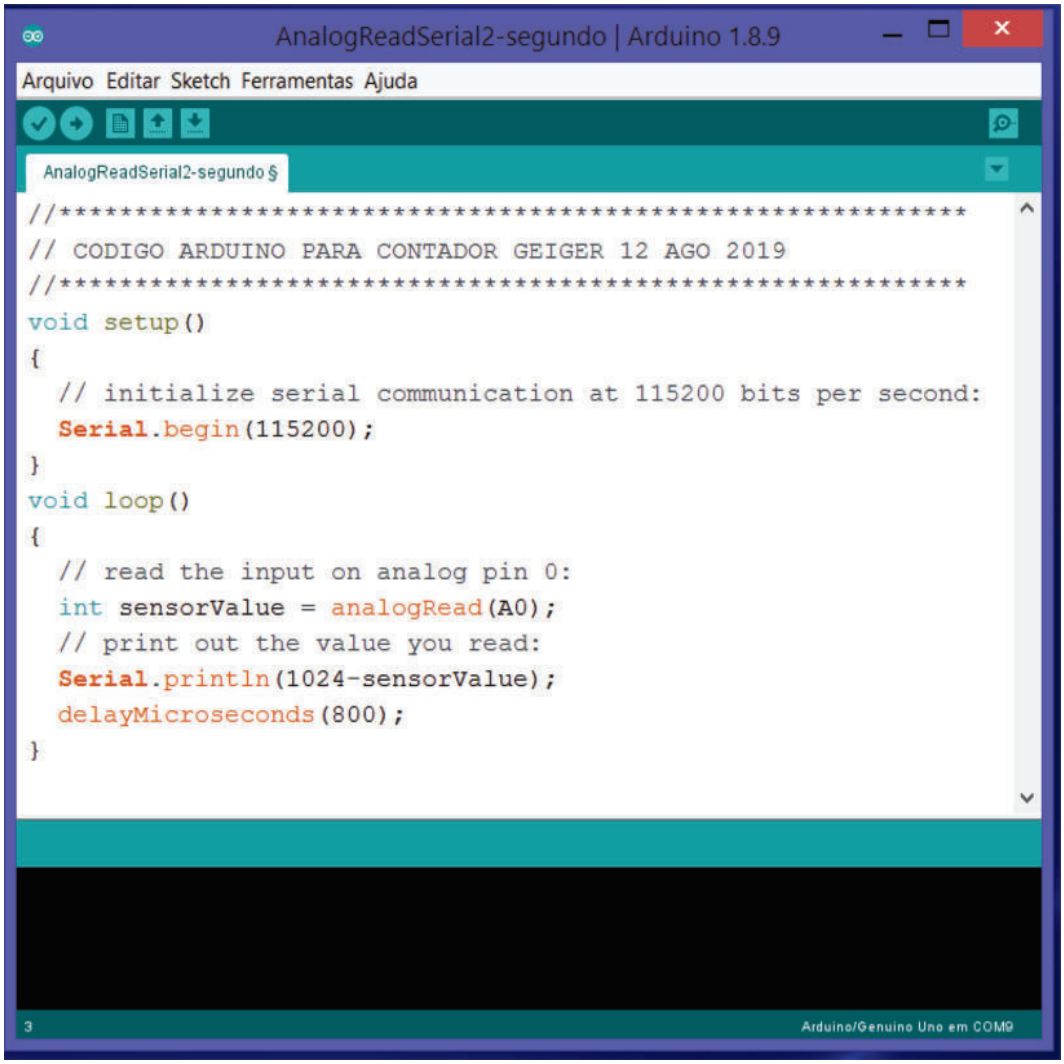
É realizado um contato elétrico na entrada do coletor do transistor para que o sinal analógico seja enviado à porta de entrada A0 da placa Arduino Uno rev. 3. A placa possui um micro controlador ATMega328p com um conversor digital de 10 bits de forma que os pulsos de tensão são convertidos em sinais digitais discretos no intervalo de 0 a 1024 (2^{10}).

A placa Arduino Uno que recebe os dados analógicos dos eventos de ionização está conectada a uma das portas seriais do microcomputador, que contem o aplicativo de aquisição de dados, através da interface USB. O cabo de comunicação fornece alimentação de 5,0 VDC

para funcionamento da placa, e a tensão aplicada ao coletor é obtida de uma das saídas de tensão VDC da mesma placa Arduino Uno.

Na memória do micro controlador da placa Arduino Uno está gravado um código de leitura serial simples usando o ambiente de desenvolvimento do Arduino. A figura 68 mostra uma imagem do código, na linguagem do Arduino. O código basicamente estabelece uma comunicação serial a uma taxa de 115200 bits por segundo (baud rate), realiza a leitura dos dados, em seguida a conversão analógico-digital dos mesmos e o envio desta informação através da interface USB.

Figura 68 – Código desenvolvido no IDE da plataforma Arduino para leitura dos dados analógicos do sensor Geiger-Muller e subsequente conversão para o formato digital. Os dados digitais são enviados através de comunicação serial para um microcomputador.



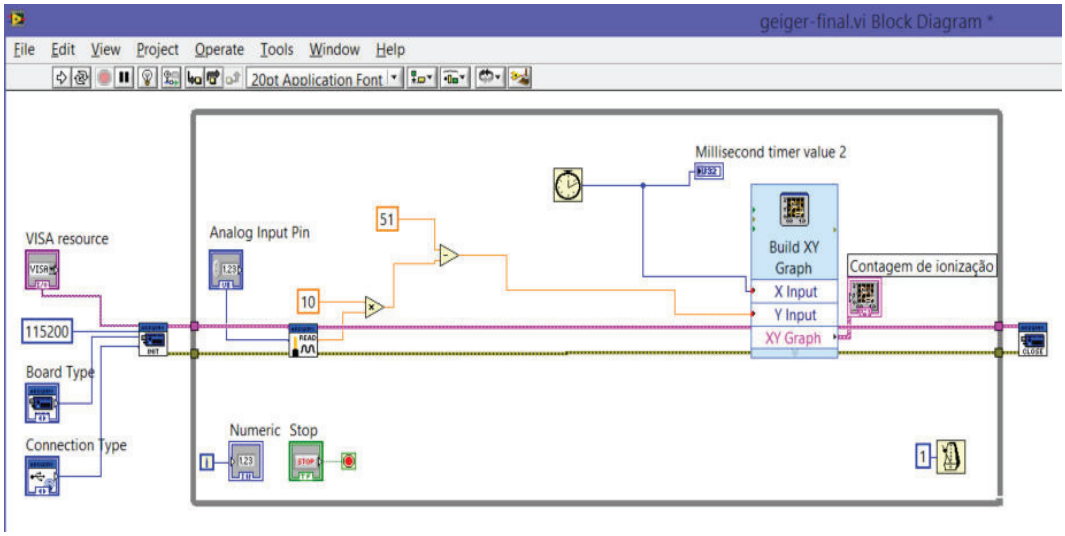
Fonte - Autores.

Este código, em princípio, recebe os dados de tensão digital enviados pela placa Arduino Uno. A placa Arduino, possui um código que permite a leitura dos dados de tensão analógica obtidos do sistema de detecção e transforma eles em dados digitais através de um conversor A/D

de 10 bits. Os dados são enviados em comunicação serial a uma taxa ou baud rate de 115200 (número de vezes em um segundo que um sinal em um canal de comunicação muda). O aplicativo em Labview recebe os dados do Arduino através dos instrumentos virtuais disponibilizados pelo LIFA e simplesmente envia os dados detectados de tensão para armazenamento em formato de texto. Simultaneamente é iniciada a contagem do tempo usando as facilidades disponíveis no Labview, esses dados de tempo também são enviados para armazenamento. Dados de tensão e do tempo são mostrados de forma gráfica em um display.

O código redigido em Labview com auxílio da ferramenta LIFA possui alguns problemas para detecção de altas taxas de eventos de ionização, assim não foi possível estabelecer uma correta sincronização para a detecção de todos os eventos de ionização detectados. Por este motivo decidiu-se pela utilização apenas do Labview sem o auxílio do toolkit LIFA. A figura 69 mostra um dos primeiros protótipos de aplicativo de aquisição de dados de eventos de ionização usando apenas o Labview.

Figura 69 – Diagrama de blocos do código de aquisição de dados desenvolvido em Labview-LIFA para armazenamento e apresentação gráfica dos dados de tensão, devido a eventos de ionização, em função do tempo.



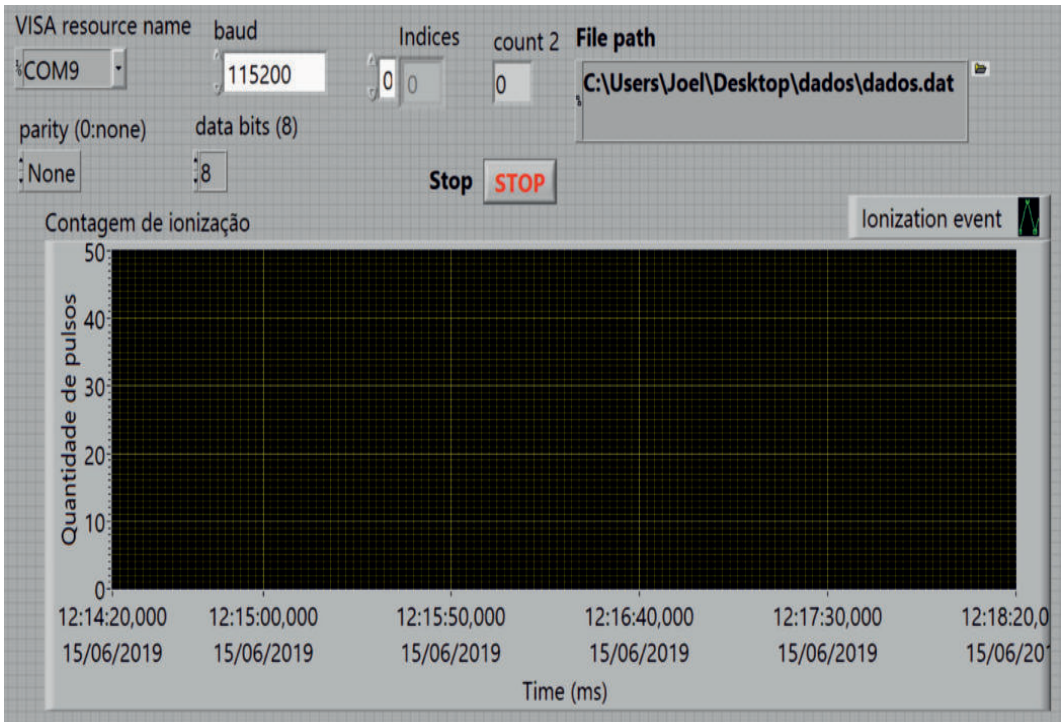
Fonte - Autores.

Neste caso, ao invés dos subprogramas do LIFA empregou-se a ferramenta VISA do Labview. O NI-VISA é um driver de instrumento da National Instruments que implementa o padrão VISA (Virtual Instrument Software Architecture) de Entrada/Saída. O VISA é um padrão para a configuração, programação e resolução de problemas de sistemas de instrumentação, compreendendo interfaces GPIB, VXI, PXI, serial (RS232/RS485), Ethernet/LXI e/ou USB. O NI-VISA inclui utilitários, recursos de controle de baixo nível e exemplos que ajudam a criar uma aplicação.

Na Figura 70, mostra-se o painel de controle do aplicativo de aquisição de dados. Nesta tela de apresentação pode-se selecionar a porta de comunicação, o tipo da placa Arduino que

está sendo empregado, o tipo de comunicação serial, os parâmetros da comunicação serial, o endereço de armazenamento dos dados, há também uma tela para a apresentação gráfica dos dados, e finalmente um icone para início e outro para finalização do processo.

Figura 70 – Painel frontal do aplicativo de aquisição de dados em labview para interação com o usuário.

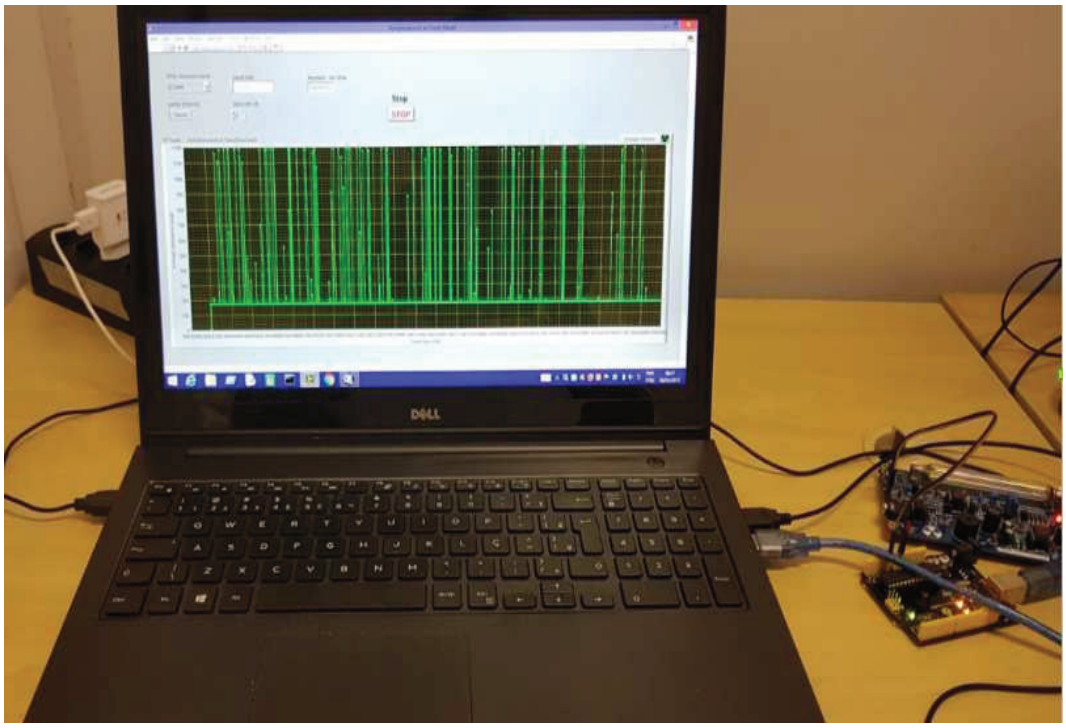


Fonte - Autores.

A fotografia mostrada na figura 71, apresenta o primeiro protótipo de sistema de detecção de radiação ionizante com aquisição de dados construído. Pode ser observada uma tela do computador com o painel frontal do aplicativo mostrando a distribuição de eventos de ionização em função do tempo.

Uma outra desvantagem de se usar os sub-programas do LIFA para a construção do aplicativo de aquisição de dados está na dificuldade de conexão entre os instrumentos virtuais. O toolkit deixou de ser aperfeiçoado e no seu lugar foi introduzido o LINX. Porque os pulsos de tensão são muito rápidos e para elevadas taxas de ionização o código em Labview/LIFA não conseguia registrar a totalidade de eventos de ionização. Assim sendo, foi decidido não empregar o LIFA e usar apenas o Labview. O LINX serve apenas para as versões de Labview acima de 2012 e nossa versão é 2010.

Figura 71 – Apresentação completa do sistema de aquisição de dados em funcionamento.



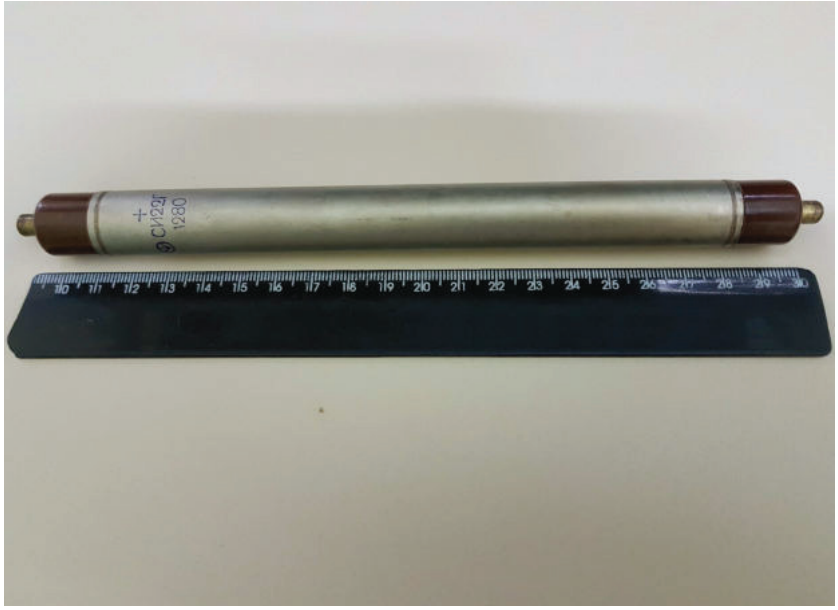
Fonte - Autores.

6.2 Sistema de detecção de eventos de ionização com aquisição de dados usando apenas o Labview 2010

Como explicado, um sistema de detecção de radiações ionizantes básico possui como componente fundamental um sensor que pode ser uma câmara de ionização, um tubo do tipo Geiger Muller [31], um tubo fotomultiplicador, uma junção **p-n**, entre outros. Também podem fazer parte do sistema um circuito de alerta visual/sonoro frequentemente denominado clicker e uma fonte de alta tensão contínua. Para aparelhos mais completos é possível incluir um sistema de aquisição de dados que pode ser composto de um microcontrolador e um aplicativo de software. Para o presente trabalho foi empregado como elemento sensitivo um Tubo de ionização Geiger-Muller modelo SI-22G de fabricação russa [32,33], o qual é mostrado na figura 72.

O sensor pode detectar radiação ionizante, como partículas alfa, partículas beta e principalmente raios gama, usando o efeito de ionização provocado pelas interações das ondas/partículas altamente energéticas sobre os átomos de gases inertes, como hélio, néon ou argônio, a baixa pressão, contidos no interior do tubo. O sensor é composto de um cilindro metálico fechado com dois eletrodos sobre os quais é aplicada uma diferença de potencial. O tubo opera com uma tensão elétrica recomendada de 400 V, resistência elétrica de 9-13 MW, trabalha em temperaturas de -50 a +70 °C, Comprimento do platô: 100V, Inclinação do platô: $0,125\%/1V$, Capacitância Inter-eletrodo (interna): 10pF, Sensitividade a pulsos gamma de

Figura 72 – Imagem do sensor Geiger-Muller modelo SI-22G.



Fonte - Labmade.

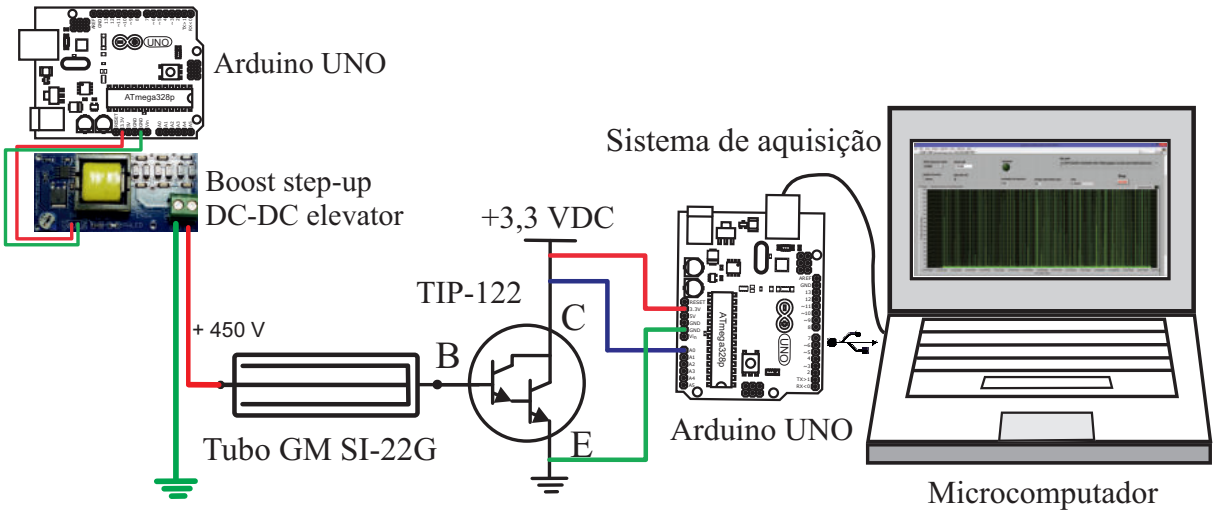
Cobalto-60: 540 pulsos/mkR e possui comprimento de 220 mm e diâmetro de 19 mm.

A figura 73 mostra o sistema de detecção de eventos de ionização com aquisição de dados construído. Neste dispositivo, o sistema de alerta visual/sonoro foi substituído por um sistema de aquisição de dados composto principalmente de uma Placa Arduino Uno revisão 3 e um microcomputador conectado à placa microcontroladora através da interface de comunicação universal serial bus (USB). Há um código que foi gravado na memória do microcontrolador para a leitura do valor de tensão elétrica entre coletor e emissor, e também para inversão e normalização do sinal de saída. Os dados analógicos são convertidos em valores digitais através do conversor analógico-digital ADC de 10 bits da placa Arduino Uno. Os dados digitais são enviados a um aplicativo de software em Labview [37], que realiza a contagem dos picos detectados de eventos de ionização, calcula o número de eventos por segundo (cps) e mostra graficamente em um display os picos de voltagem em função do tempo.

São descritos os componentes do sistema e o processo de construção e montagem. Foi empregado o sensor SI-22G e um módulo de fonte de alimentação de alta tensão do tipo conversor boost step-up, disponível comercialmente e mostrado na figura 62.

No microcomputador há um aplicativo elaborado em Labview v. 2010 [37] que primeiramente estabelece uma comunicação com a placa Arduino Uno através de uma das portas seriais. A figura 74 mostra o código que está na linguagem G no formato de diagrama de blocos. Para que a comunicação seja sincronizada é necessário especificar os parâmetros de comunicação serial a serem empregados, isto inclui, o baud rate, igual a 115200 bits por segundo, o número de bits por caractere que indica o número quantitativo de bits usados para representar um único caractere durante a comunicação serial. Neste caso foram 8, o bit de paridade foi indicado

Figura 73 – Sistema de detecção de eventos de ionização com aquisição de dados e alimentação de 3,3 VDC pela placa Arduino UNO.



Fonte - Autores.

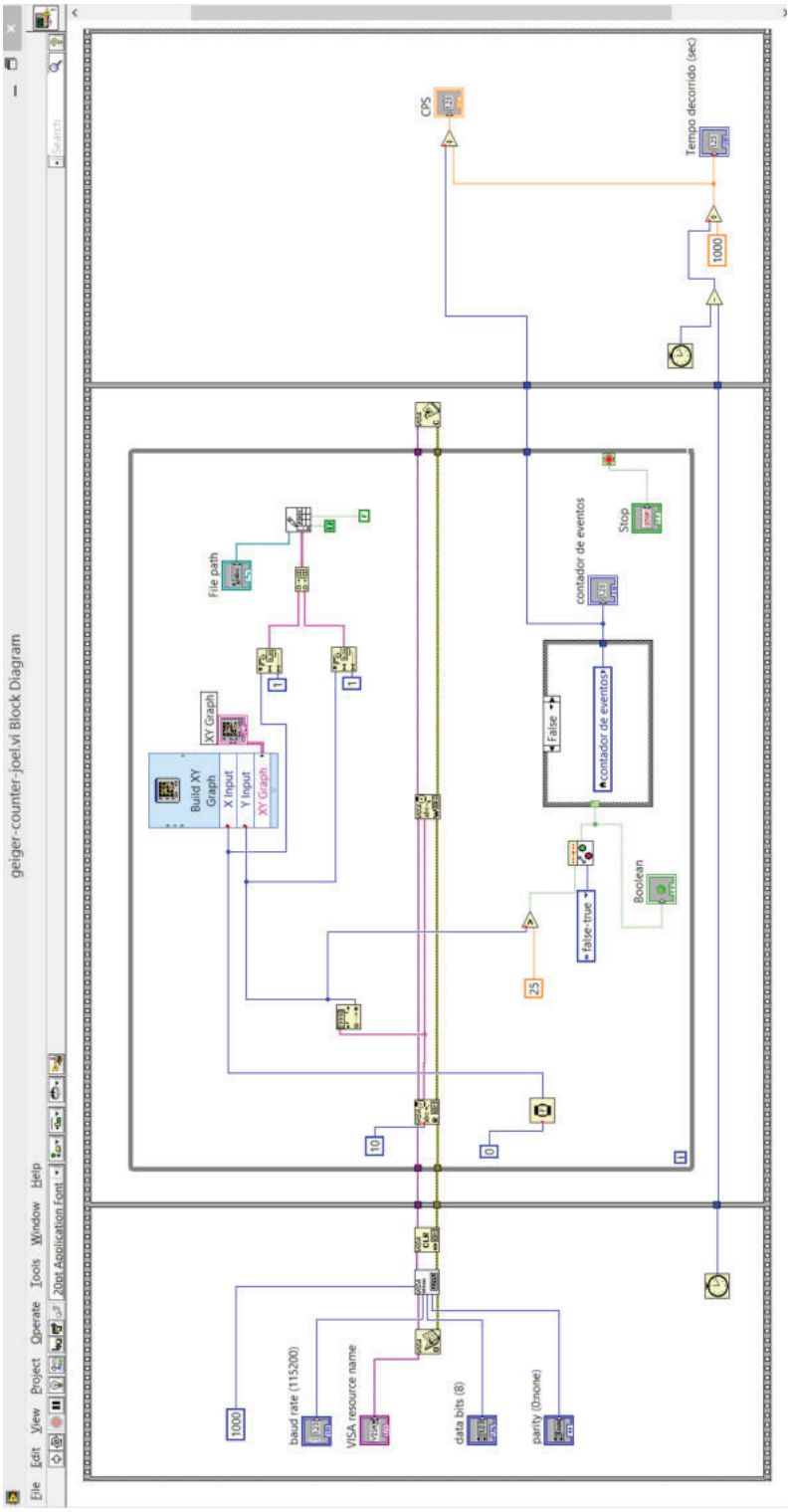
como nulo e também é selecionada a porta de comunicação específica. Em seguida, o código realiza a leitura da informação sendo enviada pela porta de comunicação e, simultaneamente, o aplicativo inicia a contagem do tempo.

O algoritmo do código é de relativa simplicidade em essência o programa realiza a leitura dos dados da porta serial, recebe a informação em formato de string, converte os dados para valores numéricos e envia os dados digitais de tensão elétrica e tempo para armazenamento e apresentação visual no display do computador.

Os eventos de ionização são muito rápidos e aparecem como picos de tensão elétrica, de boa resolução e muito estreitos. No código gráfico é implementada uma rotina de contagem desses eventos de ionização. É contado qualquer pico de tensão maior que um valor de tensão digital limiar acima do nível de ruído elétrico. Com a contagem do número de eventos de ionização e o tempo, calcula-se o valor do número de eventos detectados por segundo ou contas por segundo (cps) [38].

Para o caso do sistema de detecção de eventos de ionização com aquisição de dados, foi empregada a saída de tensão de 3,3 VDC da placa Arduino Uno ao invés da saída de 5,0 VDC. A figura 75 mostra um gráfico com a captura de tela da medição da tensão positiva de saída analógica da placa Uno de 3,3 VDC em relação ao terra, usando o osciloscópio. Como pode ser notado o sinal de tensão continuo tem uma razão ruído-sinal desprezível. A queda de diferença de potencial elétrico produzida por um evento de ionização detectado não atinge o valor nulo exatamente, mas, aproximadamente, um valor de 0,9 VDC. Este sinal aparece no display do computador através do Serial Plotter do IDE da plataforma Arduino como um pico de tensão elétrica invertido, embora positivo, no meio de um entorno de potencial máximo de

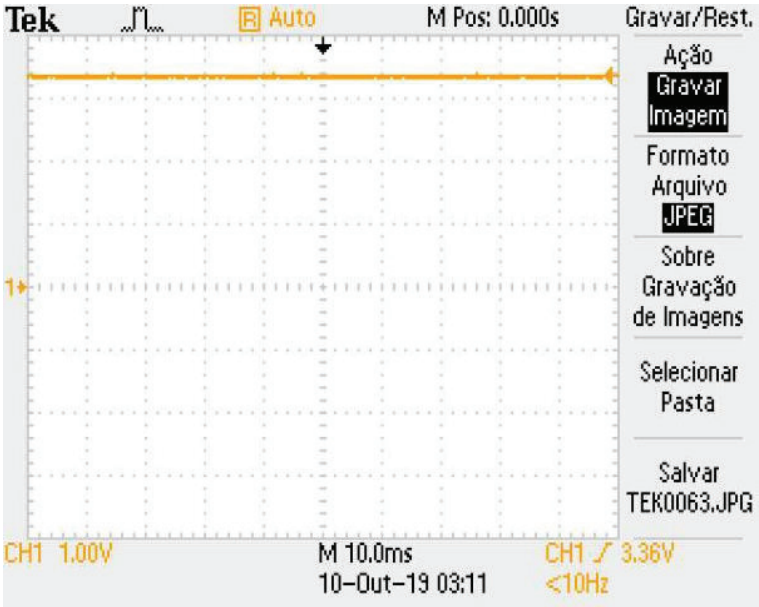
Figura 74 – Código em Labview para o sistema de detecção de radiação ionizante com aquisição de dados para contagem e visualização gráfica dos eventos de ionização..



Fonte - Autores.

3,34 VDC. A largura a meia altura deste pico é de aproximadamente 50 μs.

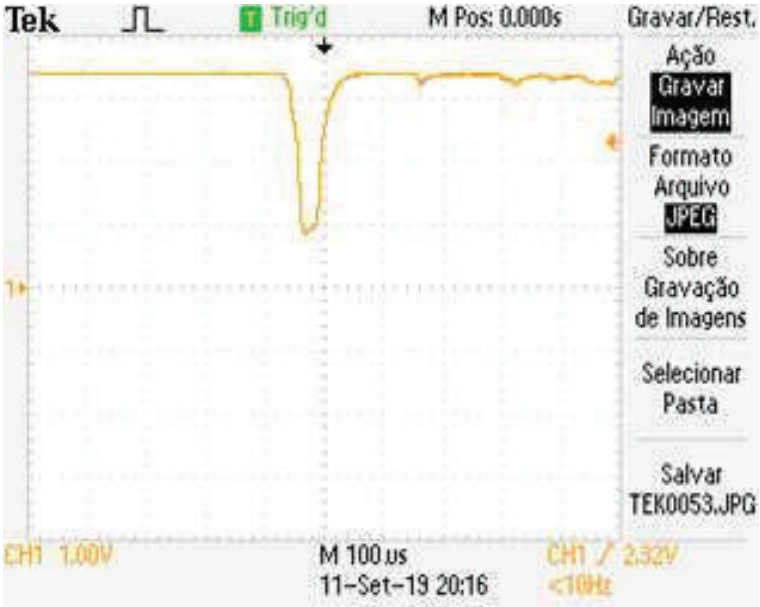
Figura 75 – Sinal de tensão contínuo de 3,3 VDC da saída da placa Arduino Uno rev. 3 mostrada no display do osciloscópio.



Fonte - Autores.

No circuito do sistema de aquisição é estabelecida uma tensão de +3,34 VDC entre coletor e emissor, quando um pulso de tensão devido a um evento de ionização é detectado. O pulso de tensão entre base e terra possibilita o estabelecimento de uma corrente entre coletor e emissor o qual produz uma queda na diferença de potencial entre estes dois terminais como mostrado na captura da imagem do display do osciloscópio na figura 76.

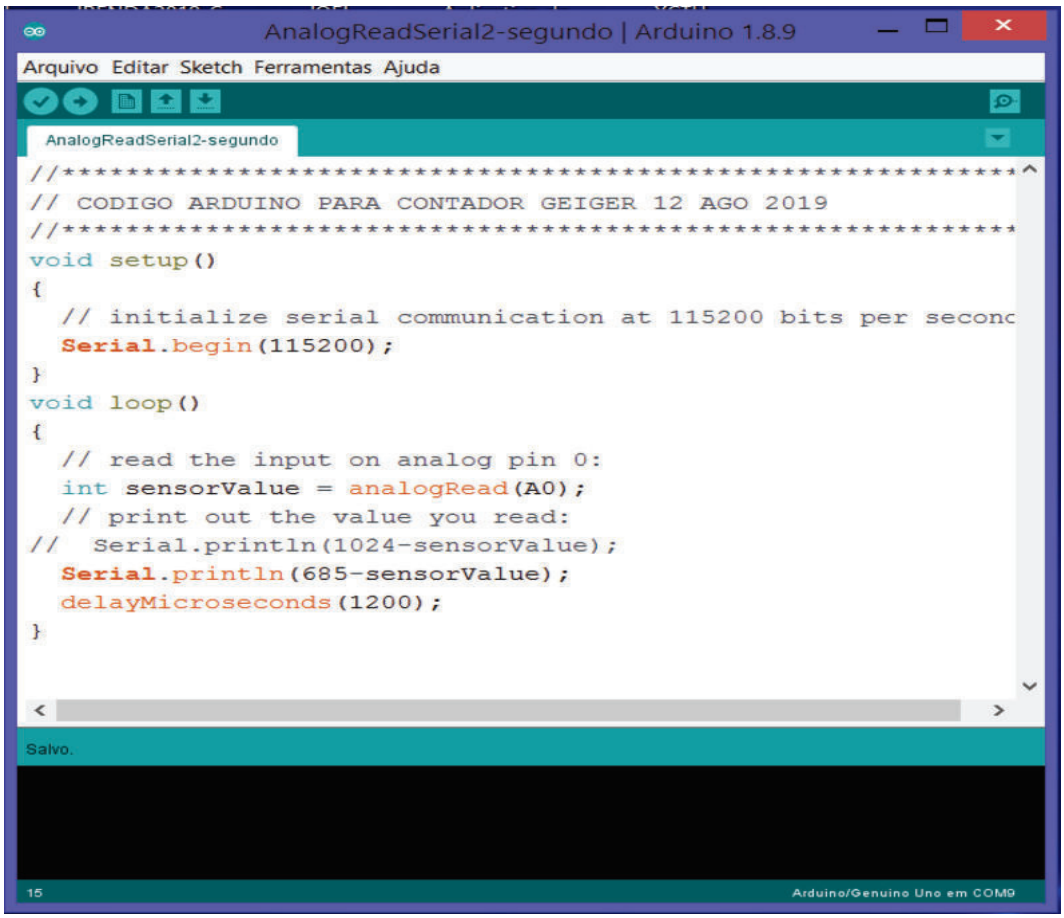
Figura 76 – Sinal de tensão entre coletor e emissor na presença de eventos de ionização detectados pelo tubo Geiger-Muller conectado à base do transistor TIP-122.



Fonte - Autores.

Para poder empregar esse sinal de tensão invertido para a contagem de eventos de ionização é necessário inverter o pico e deslocar o valor de voltagem positivo, embaixo do pico, para o valor zero de tensão de forma a obter apenas um pico de tensão positiva. O processo é realizado no código de leitura serial da placa Arduino Uno, mostrado na figura 77. Para conseguir a inversão, realiza-se a subtração do valor de tensão analógica detectada na porta A0 do valor máximo fornecido pela placa que é de 3,34 VDC. Desta forma, quando não há corrente entre coletor e emissor o sinal de tensão deverá ser 0,0 VDC. Quando há corrente entre coletor e emissor a queda de potencial subtraída do valor 3,34 VDC (valor digital 685) produzirá um pico de tensão positivo que indica um evento de ionização. Este pico de tensão embora muito estreito pode ser lido por um código de aquisição em Labview. A figura 78 mostra uma captura de tela do plotter serial do IDE do Arduino onde aparecem alguns picos de tensão bem definidos com valores positivos de tensão correspondentes a alguns eventos de ionização devido a radiação de fundo (ou radiação do ambiente) sobre um pequeno entorno de ruído elétrico.

Figura 77 – Código desenvolvido no IDE do Arduino para inversão do sinal de tensão entre coletor e emissor do TIP-122.



Fonte - Autores.

Após a inversão e normalização dos picos de tensão devido aos eventos de ionização através da placa Arduino Uno, é possível conectar esta placa ao microcomputador e empregar

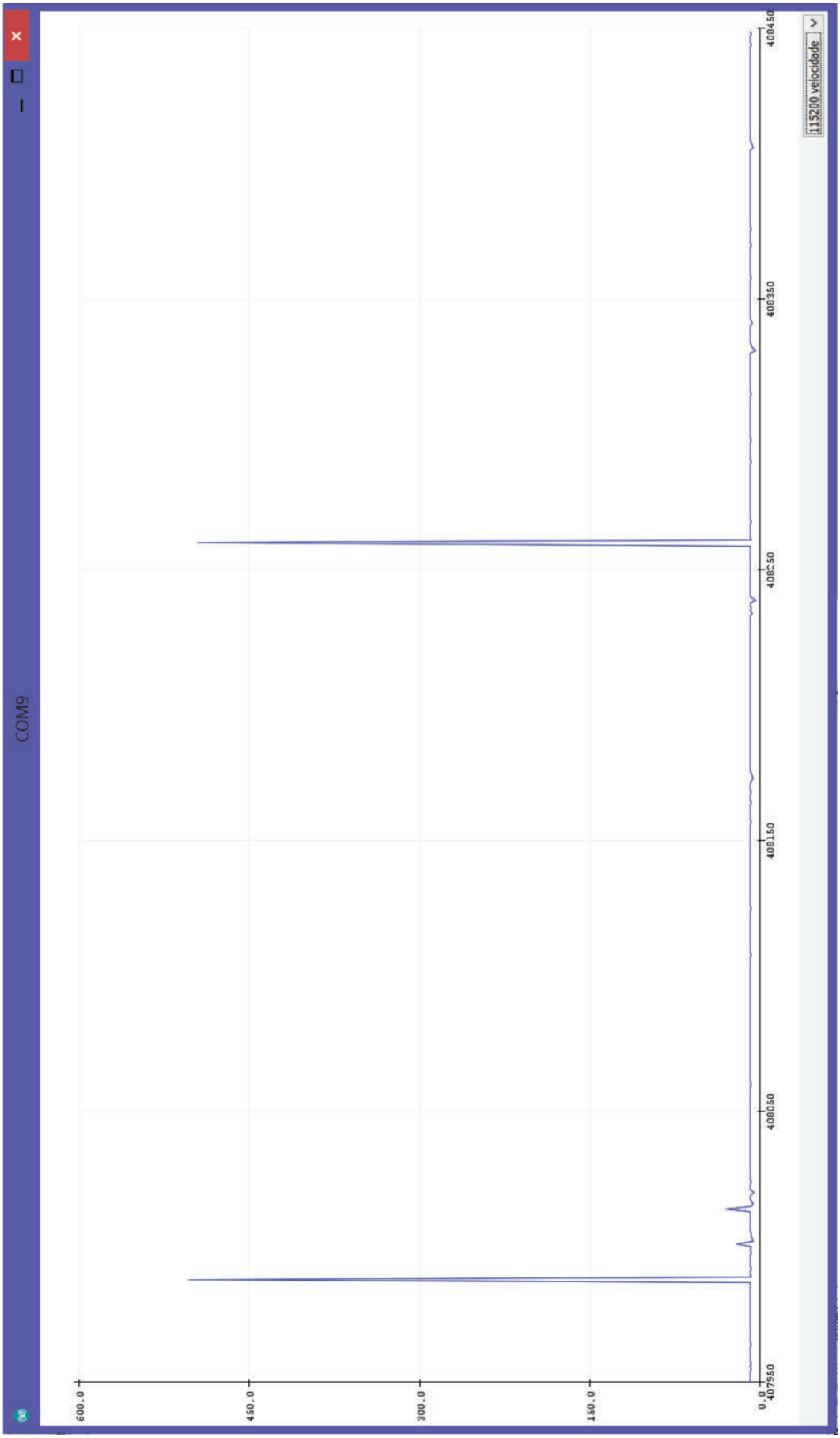


Figura 78 – Tela do serial plotter do IDE da plataforma Arduino mostrando os picos de tensão digitais, devido a radiação de fundo, em função do tempo após o processo de inversão do sentido do sinal. Mostra-se pulsos bem definidos em amplitude sobre um leve entorno de ruído elétrico.

Fonte - Autores.

o aplicativo de aquisição desenvolvido em Labview. A placa Uno captura os dados analógicos de tensão entre coletor e emissor do TIP-122 e converte esses valores analógicos em valores digitais. Em seguida o código armazenado na memória da placa Arduino transmite esses dados de forma serial através da interface USB.

Para a detecção dos picos de tensão foi elaborada uma sub-rotina de contagem de eventos que seleciona todos os picos de tensão acima de um valor limiar escolhido além do valor médio de uruído elétrico máximo. De forma simultânea, com a detecção dos picos de tensão é também contabilizado o tempo de duração do processo de aquisição. Na medida em que os dados de tempo e tensão são coletados, eles são imediatamente enviados para uma sub-rotina de armazenamento e plotagem. Assim obtém-se a distribuição dos picos de ionização em função da evolução temporal, em tempo real, no display do computador. Ao finalizar o processo de detecção o aplicativo calcula o número de cps que é uma medida direta do número de eventos de ionização detectados, por unidade de tempo.

A figura 45 mostra o painel frontal do aplicativo em Labview após um processo de coleta de dados de eventos de ionização do ambiente em um tempo de 109 segundos. O número de eventos detectados é de 82, o qual pode ser verificado na contagem visual dos picos.

O gráfico da figura 46 mostra duas capturas de tela do painel frontal do aplicativo em Labview: a primeira na parte superior mostra uma sequência de medidas de atividade de uma única fonte de Am-241 realizada durante um intervalo de 95,0 s obtendo-se uma contagem de 5,37 cps. A segunda captura de tela, na parte inferior, mostra uma sequência de medidas para a atividade de duas fontes de Am-241, uma do lado da outra, durante um intervalo de 109,0 s. neste caso a contagem obtida foi de 9,67 cps.

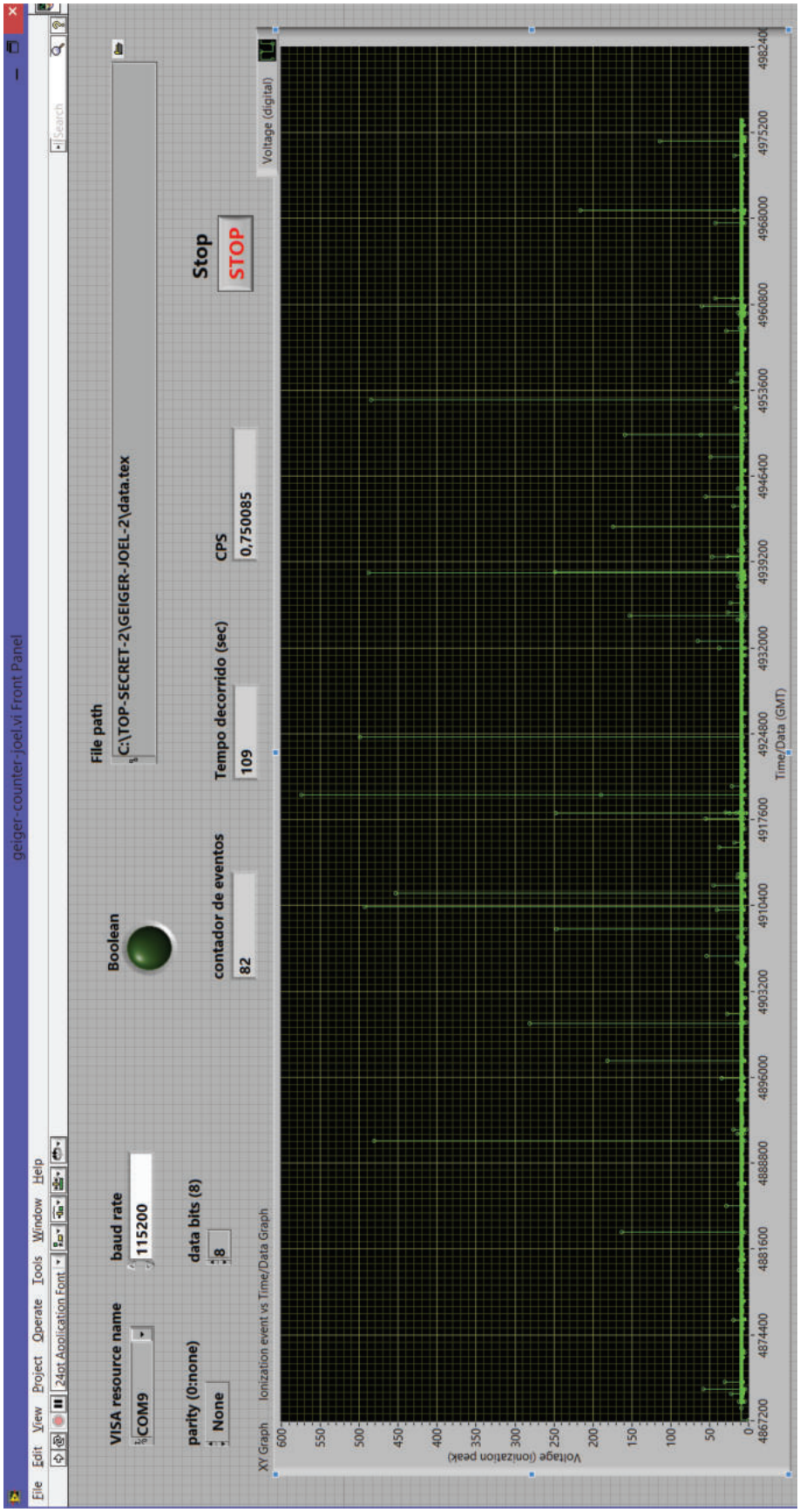
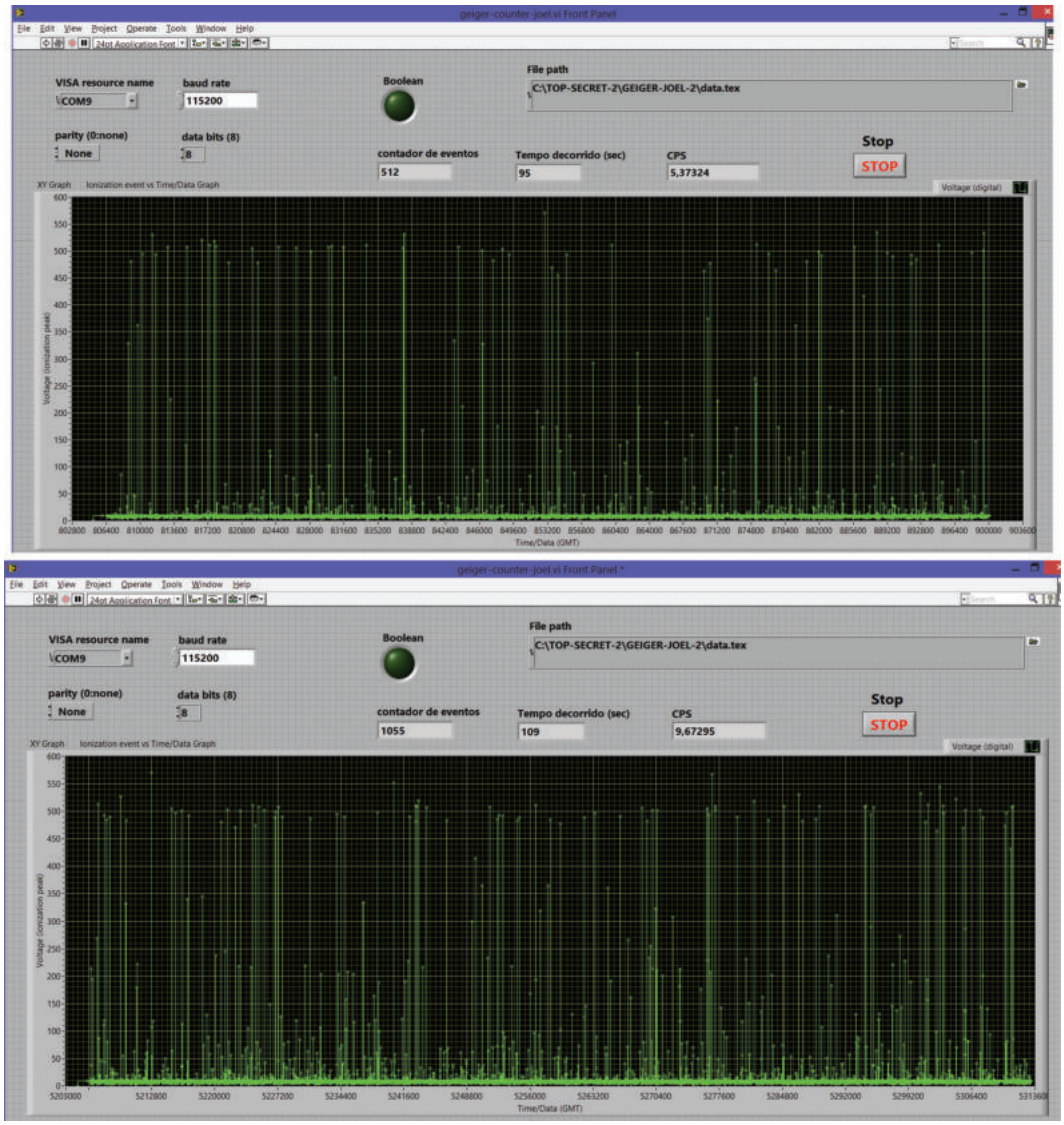


Figura 79 – Painel frontal em Labview do aplicativo para apresentação visual dos dados do processo de detecção dos eventos de ionização produzidos no tubo G-M devido à radiação do ambiente.

Fonte - Autores.

Figura 80 – Painel frontal em Labview do aplicativo para apresentação visual dos dados do processo de detecção dos eventos de ionização produzidos no tubo G-M devido à radiação de (a) parte superior, uma fonte e (b) parte inferior, duas fontes de Am-241 situadas a uma distância de alguns milímetros do sensor G-M.



Fonte - Autores.

7 Considerações finais

O presente documento apresentou a descrição da construção de três sistemas experimentais para detecção de eventos de ionização por sistemas onda/partícula de alta energia: uma cãmara de ionização, um detector de radiação ionizante e um detector de radiação ionizante com aquisição de dados. Os sistemas constituem a parte experimental do produto educacional objeto da dissertação de mestrado. A parte dos fundamentos teóricos está descrita em um e-book que está anexado ao presente documento [39].

Foram construídos e testados com sucesso: uma câmara de ionização, um sistema de detecção com alerta visual sonoro e um sistema de detecção com aquisição de dados. Os três sistemas são de construção e concepção muito simples podendo ser introduzidos nos laboratório de escolas e cursos de graduação.

Referências

[1] Ramalho Junior, Francisco/ Os fundamentos da Física/ Francisco Ramalho Junior, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antônio de Toledo Soares. – 10. Ed.- São Paulo: Moderna, 2009. Citado na página 15.

[2] http://www.portalsaofrancisco.com.br/fisica/radioatividade, acesso em mar 2019. Citado na página 11.

[3] https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como funciona-o-contador Geiger/4 de julho de 2018. Citado na página 34.

[4] https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/americio-radioativo.htm Citado na página 34.

[5] https://www.quimlab.com.br/guiadoselementos/americio. Citado na página 35.

[6] https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/nutricao/radiacao-como-metodo-de-conservacao-de-alimentos/31389. Citado na página 25.

[7] RESNICK, R.; HALLIDAY, D.; WALKER, J. Fundamentos da Física. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. Citado na página 27.

[8] TIPLER, P. A. Física. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC,2009. Citado na página 27.

[9] WIKIPEDIA A enciclopedia livre. Radiação. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o_ionizante, acesso em outubro 2018. Citado na página 29.

[10] WIKIPEDIA A enciclopedia livre. Sivert https://pt.wikipedia.org/wiki/Sievert, acesso em janeiro 2018 Citado na página 31.

[11] https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-meia-vida.htm, acesso em fevereiro 2018 Citado na página 33.

[12] SOUZA, Líria Alves de. "A radioatividade presente em nosso cotidiano"; Brasil Escola. Disponível em <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/a-radioatividade-presente-nosso-cotidiano.htm>. Citado na página 25.

[13] WIKIPEDIA A enciclopedia livre. https://pt.wikipedia.org/wiki/Bombardeamentos_de_Hiroshima_e_Nagasaki, acesso em junho 2018. Citado na página 37.

[14] https://www.todamateria.com.br/conferencia-de-potsdam. acesso em julho 2018. Citado na página 40.

[15] https://www.infoescola.com/fisica/acidente-da-usina-nuclear-de-chernobyl. acesso em julho 2018 Citado na página 43.

[16] https://novaescola.org.br/conteudo/261/entenda-o-acidente-nuclear-em-fukushima-no-japao Citado na página 44.

[17] WIKIPEDIA A enciclopédia livre. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Acidente_radiol%C3%B3gico_de_Goi%C3%A2nia, acesso em março 2019. Citado na página 45.

[18] https://www.ebiografia.com/ernest_rutherford. acesso em março 2019. Citado na página 47.

[19] https://www.ebiografia.com/marie_curie. acesso em março 2019. Citado na página 49.

[20] https://www.dw.com/pt-br/1845-nascia-wilhelm-conrad-r%C3%B6ntgen-descobridor-do-raio-x/a-782500. acesso em abril 2018. Citado na página 50.

[21] WIKIPEDIA A enciclopédia livre. Arduino. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Radioatividade, acesso em outubro 2018. Citado na página 20.

[22] ROBOCORE. Arduino UNO R3 Made in Italy. Disponível em: https://www.robocore.net/loja/produtos/arduino-uno-r3.html#inf$_$tecnicas, acesso em fevereiro de 2018. Citado na página 51.

[23] BLOG WORDPRESS. **Aprendendo Arduino**. Disponível em: https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2015/03/23/shields-para-arduino/, acesso em novembro 2019. Citado na página 51.

[24] ARDUINO. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Arduino&oldid=57596583>. Acesso em: 28 fev. 2020. Citado na página 51.

[25] ARDUINO. **WHAT IS ARDUINO?**. Disponível em: https://www.arduino.cc/. Acesso em janeiro 2018. Citado 4 vezes nas páginas 51, 53, 54 e 55.

[26] LABVIEW. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2019. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=LabVIEW&oldid=55482804>. Acesso em: 14 jun. 2019. Citado na página 56.

[27] CERNE TECNOLOGIA. **Apostila de LabVIEW**. Cerne-Tec Tecnologia. São Paulo. SP, 2006. Disponível em: http://www.cerne-tec.com.br/labview.pdf, acesso em novembro de 2019. Citado na página 58.

[28] NATIONAL INSTRUMENTS. **O que é o LabVIEW?**. Disponível em: https://www.ni.com/newsletter/51141/pt/i, acesso em fevereiro de 2018. Citado na página 58.

[29] NATIONAL INSTRUMENTS. **LabVIEW interface for arduino documents**. Disponível em: https://forums.ni.com/t5/LabVIEW-Interface-for-Arduino/tkb-p/7306, acesso em fevereiro de 2018. Citado na página 58.

[30] FRANCO, M. V. D. O emprego de módulos de ondas de rádio com fator de forma compatível para automação da aquisição de dados em experimentos didáticos de física. Dissertação MNPEF UFT – Araguaína TO, 2018. Nenhuma citação no texto.

[31] GLENN, F. K. Radiation Detection and Measurement. John Wiley and sons third edition 2000. Citado 2 vezes nas páginas 63 e 86.

[32] POCKETMAGIC. SI-22G datasheet. Acesso em 09/10/2019 https://www.pocketmagic.net/wp-content/uploads/2015/02/SI22G_datasheet.jpg. Citado na página 86.

[33] BABAK, S. Radiation monitoring of environment using unmanned aerial complex. The Advanced Science Journal, volume v. 2014, p. 41, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 63 e 86.

[34] Bismarck Costa Lima. Teoria e Automatização de um Sistema de Caracterização Elétrica I×V para Dispositivos Fotovoltaicos. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Curso Física Universidade Federal do Tocantins Campus de Araguaína 2013. Citado 2 vezes nas páginas 69 e 70.

[35] KE NAI DZ, Conversor Boost 5 V-12 V Step up para 300 V-1200 V Módulo De Potência. https://pt.aliexpress.com/item/32879757631.html 2019. Citado na página 76.

[36] NELSON, C. e WILLIAMS, J. Boost Converter Operation. Linear Technology Application Note 19 1986. Disponível em https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/an19fc.pdf. Citado 2 vezes nas páginas 73 e 75.

[37] NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. Getting started with Labview. Worldwide technical support and product information, 1th edition, p. 47, 2001. Citado na página 87.

[38] KAKUNO, E. M. Montagem e teste de detector Geiger Muller usando tubo SBM19, Revista Brasileira de Ensino de Física v. 36, n. 1, p. 1315, 2014. Citado na página 88.

[39] BARBOSA, J. F. Radioatividade. 1. ed. Araguaína: UFT, 2011. E-book. Disponível em: <https://barbosaoficial.files.wordpress.com/2018/11/livro6setembro-6.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2020. Citado na página 96.