



Id.: CR34

## **INVESTIGAÇÃO DO USO DE SENSORES FOTOGRÁFICOS DE DISPOSITIVOS CELULARES COMO DETECTOR CONTADOR DE RADIAÇÃO GAMA**

**Rick Bruno da S Cavalcante<sup>1</sup>, Anderson G de Paula<sup>2</sup>, Ricardo T Lopes<sup>2</sup>, Davi F de Oliveira<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>2</sup> Laboratório de Instrumentação Nuclear, Universidade Federal do Rio de Janeiro - LIN/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

[davifoliveira@coppe.ufrj.br](mailto:davifoliveira@coppe.ufrj.br)

**Palavras-Chave:** Sensores fotográficos CMOS, Radiação gama, Detector contador

### **RESUMO**

Os dispositivos celulares são amplamente utilizados, sendo ferramentas poderosas e de constante evolução em termos de seus componentes e funcionalidades. Um dos principais componentes dos celulares são os seus sensores fotográficos, projetados para transformar a luz visível proveniente da cena fotografada em sinais elétricos, que são processados e convertidos em dados digitais, permitindo a reprodução precisa da imagem capturada no dispositivo. A natureza semicondutora oferece a eles também a capacidade de detecção de radiações mais energéticas do que a luz visível, como a luz ultravioleta, raios X e raios gama. Por não serem projetados para a finalidade de medição de radiação ionizante, esses sensores oferecem diversas limitações que os tornam pouco acurados para serem utilizados como detectores padrão; porém, podem ser uma alternativa imediata, emergencial e provisória em casos de acidentes radiológicos e nucleares, possibilitando a imediata detecção de radiação e, conseqüentemente, a mitigação dos riscos à saúde da população ao identificar a presença da radiação ionizante e alertando para que ela seja evitada. Existem no mercado alguns aplicativos que prometem utilizar a propriedade de detecção de radiação ionizante para medição de taxa de contagem e taxa de dose, sendo um deles o RadioactivityCounter que é aplicado nesse trabalho. Este estudo utilizou três dispositivos celulares distintos para investigar como os seus sensores fotográficos respondem, quando expostos à radiação gama. Para isso, foram realizadas medições em diversas condições de exposição, variando a energia da radiação incidente e a taxa de incidência. Essa abordagem permitiu a classificação da eficiência relativa de cada dispositivo, a determinação de suas precisões e a comprovação de que são sensíveis à radiação gama.

### **1. INTRODUÇÃO**

Os sensores do tipo semicondutor de óxido metálico complementar (CMOS), presentes em dispositivos celulares (DCs), podem ter aplicações na metrologia de radiações ionizantes [1] [2], visto que sensores CMOS, são utilizados em procedimentos de radiografia médica e industrial, por possuírem boa resolução espacial e sensibilidade; embora geralmente sejam combinados com materiais cintiladores para a detecção indireta de radiação ionizante [3].

Os DCs, enquanto aliados na proteção radiológica e nuclear, podem funcionar como estimadores de segurança em relação à exposição de radiação ionizante. Por exemplo em 2011, com o acidente nuclear na usina de Fukushima Daiichi no Japão [4], houve uma alta demanda por dispositivos de monitoramento de radiação [5]. Como solução, foi desenvolvido um detector de radiação ionizante acoplado a um DC iPhone (Pocket Geiger), responsável pela leitura e exibição dos dados coletados. Este dispositivo permitiu a criação de bancos de dados sobre níveis de radiação nas regiões afetadas pelo acidente [6]. A utilização do sensor fotográfico dos DCs pode facilitar e ampliar sua utilização enquanto um tipo de monitor radioativo, servindo como um mecanismo de radioproteção.



Esta pesquisa tem como objetivo estudar a capacidade de detecção de radiação gama por sensores fotográficos tipo CMOS e seu comportamento de resposta, determinando a eficiência relativa entre os sensores e suas precisões.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Dispositivos Utilizados

Foram utilizados três DCs de modelos diferentes de um mesmo fabricante, com sistema operacional Android, versões de 10 a 13. As medições foram realizadas com o sensor da parte posterior cuja especificações constam na Tabela 1.

Tabela 1 - Especificações dos sensores dos dispositivos celulares utilizados [7].

Modelo	Dispositivo	Sensor	Resolução (MP)	Tamanho Pixel ( $\mu\text{m}$ )
S21	1	ISOCELL HM3	108	0,8
S20	2	ISOCELL 2LD	12	1,8
M20	3	ISOCELL 3L6	13	1,12

### 2.2 Fontes Radioativas

Foram utilizadas duas fontes de radiação gama com atividades em milicurie, sendo 1 milicurie (mCi) =  $3,7 \times 10^7$  becqueréis (Bq), conforme indicado na Tabela 2, pertencentes ao Laboratório de Instrumentação Nuclear (LIN) do Programa de Engenharia Nuclear da COPPE (PEN/COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Tabela 2 - Características das fontes utilizadas [8].

Fonte	Atividade (mCi)	Energia (keV)
Cs-137	51	661,657 (3)
Am-241	100	59,5412 (2)

### 2.3 Aplicativo (App)

Foi utilizado o app RadioactivityCounter-2.1 [9]; este possibilita que DCs se assemelhem a contadores Geiger, sem hardware adicional, apenas bloqueando a entrada de luz visível no sensor da câmera com fita. O app detecta radiação ionizante por meio de sinais nas imagens onde a radiação interage com o sensor. Após a primeira inicialização do aplicativo, é necessário realizar a medição do nível de ruído (n), este agrega ruído eletrônico e radiação de fundo. O processo foi realizado em cada aparelho, por um minuto para sua conclusão.

### 2.4 O Experimento

Para a realização da pesquisa, cada DC foi irradiado por cada uma das fontes radioativas em momentos distintos. Na Figura 1, um esquema simplificado do arranjo experimental; para o procedimento de irradiação, cada DC teve sua câmera coberta com quatro camadas de fita isolante preta, para bloquear a entrada de luz visível no sensor.

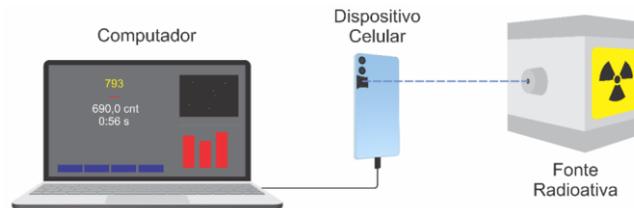


Figura 1 – Configuração experimental

A quantidade de fita isolante foi determinada com base em uma análise qualitativa de imagens produzidas com a câmera direcionada para luz ambiente, buscando obter uma imagem mais escura possível. Na Figura 2, as imagens obtidas sob as mesmas condições de exposição e aquisição, com diferentes camadas de fita isolante.

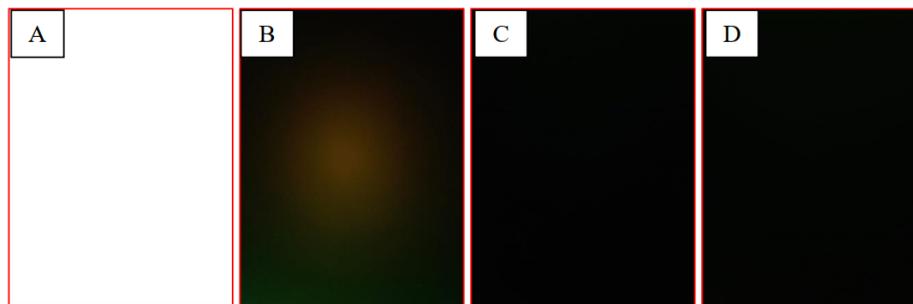


Figura 2 – Imagens obtidas com a câmera coberta por camadas de fita isolante preta. (A) Uma camada de fita isolante. (B) Duas camadas de fita isolante. (C) Três camadas de fita isolante. (D) Quatro camadas de fita isolante.

As medidas de contagem foram tomadas de modo que a quantidade de radiação incidente na câmera dependesse apenas da distância sensor-fonte (S-F) em um mesmo eixo. Entre cada medida, o sensor foi posicionado de forma alinhada ao centro da abertura do invólucro da fonte radioativa, conforme ilustrado pela linha pontilhada azul da Figura 1, visando estar na direção de máxima incidência do feixe. Foram tomadas medidas para cada DC e fonte radioativa, variando a distância S-F de 5 cm até 100 cm, em incrementos de 5 cm. O tempo de aquisição para cada medida foi de 60 segundos, sendo realizadas 5 medidas consecutivas para cada posicionamento do DC.

### 3. RESULTADOS

Para cada dispositivo foi obtido um valor de n, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Dispositivos e nível de ruído

DC	1	2	3
n	2	4	10

#### 3.1 Fonte De Cs-137

Utilizando a fonte de Cs-137 foram obtidos valores de contagem média (CM) e desvio padrão (DP) em função da distância S-F, conforme indicado na Tabela 4. Os dados seguem graficados na Figura 3, em que para cada curva de dados foi aplicado o ajuste dado pela equação 1.

$$y = \frac{a}{x^2}. \quad (1)$$



Tabela 4 – CM e DP dos DCs

DC	1		2		3	
S-F (Cm)	CM	DP	CM	DP	CM	DP
5 (1)	171	64	183	22	3560	100
10 (1)	63	29	1007	69	1999	51
15 (1)	35	23	4360	250	919	48
20 (1)	33	6	6150	230	303	15
25 (1)	35	16	5130	260	268	30
30 (1)	40	35	4170	170	147	26
35 (1)	16	16	3009	98	129	23
40 (1)	16	14	2353	52	55	15
45 (1)	25	18	1523	44	70	6
50 (1)	17	7	1450	130	41	13
55 (1)	5	9	1040	140	53	4
60 (1)	5	7	651	62	34	8
65 (1)	10	8	626	64	34	5
70 (1)	8	6	553	68	33	14
75 (1)	6	7	459	53	23	6
80 (1)	8	5	373	72	17	4
85 (1)	4	7	159	46	17	5
90 (1)	5	7	112	24	13	3
95 (1)	7	7	130	21	13	4
100 (1)	1	2	107	33	13	4

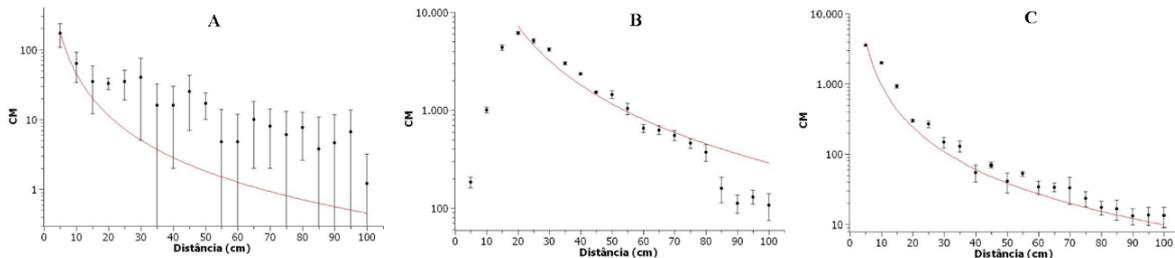


Figura 3 – CM x DP - (A) DC 1 (B) DC 2 (C) DC 3

Note que os pontos do DC 2 que se encontraram na região de saturação são ignorados na análise. O DPM para os três DC é apresentado na Figura 4-A, em que o ajuste linear, dado pela equação 2, foi aplicado em cada distribuição de dados de cada DC. Os valores dos parâmetros a, b e  $R^2$  seguem indicados na Tabela 5. Na Figura 4 -B a comparação da eficiência relativa (ER) dos sensores 1 e 2 em relação ao 3. Na análise do gráfico da Figura 4 -B, novamente foi aplicado o ajuste dado pela equação 2, os valores dos parâmetros \*a, \*b e \* $R^2$  para esta análise seguem indicados na Tabela 6.

$$y = a x + b \quad (2)$$

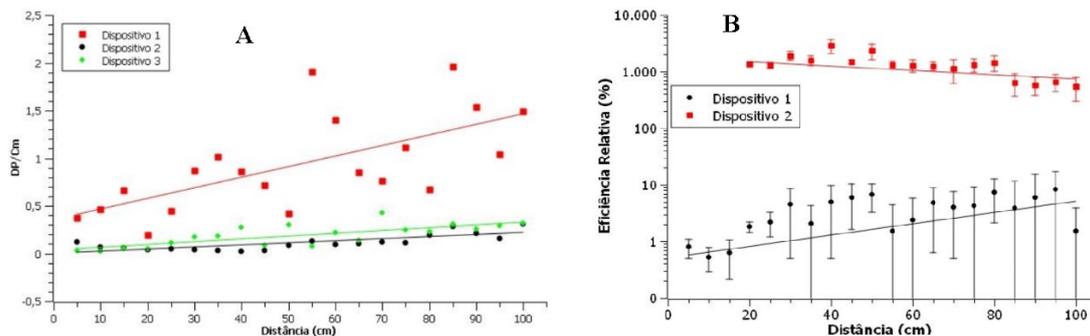




Figura 4 – (A) DPM e (B) ER

Tabela 5 – Coeficientes de ajuste e coeficiente de determinação

DC	a (cm <sup>-1</sup> )	b	R <sup>2</sup> (%)
1	0,011 (3)	0,4 (2)	87,84
2	0,0022 (4)	0,0 (3)	86,02
3	0,0030 (6)	0,03 (4)	89,08

Tabela 6 – Coeficientes de ajuste e coeficiente de determinação

DC	*a (cm <sup>-1</sup> )	*b	*R <sup>2</sup> (%)
1	0,0005 (1)	0,003 (2)	46,90
2	-0,09 (2)	17 (1)	54,60

Os DCs 1 e 3 apresentaram contagens que diminuem com o aumento da distância, entretanto, o DC 2 apresentou um comportamento anômalo entre 5 e 20 cm (Figura 3 – B), indicando que nessas distâncias o CMOS saturou. Ao analisar os DPM de cada DC (Figura 4 – A), foi verificado um comportamento levemente dependente da distância; para os DC 2 e DC 3, em comparação ao DC 1. Este apresentou um coeficiente angular de 0,011(3) cm<sup>-1</sup>, e com incerteza de medição que aumentou com o aumento da distância. A análise da ER mostrou que o DC 2 possui o sensor mais eficiente entre os três DCs, tendo produzido cerca de 10 vezes mais contagens que o DC 3 e 1000 vezes que o DC 1, em um mesmo ponto.

### 3.2 Fonte de Am-241

Mantido o mesmo arranjo experimental e trocando a fonte para o Cs-137 foram obtidos valores de CM' e DP' em função da distância S-F, conforme apresentado na Tabela 7. Os dados seguem graficados na Figura 5, neles foram aplicados o ajuste dado pela equação 1.

Tabela 7 – CM' e DP' dos DCs

DC	1		2		3	
	CM'	DP'	CM'	DP'	CM'	DP'
S-F (Cm)						
5 (1)	14506	300	51224	457	10114	255
10 (1)	4602	75	15432	465	3499	78
15 (1)	2458	121	8346	132	1499	95
20 (1)	1416	82	4995	187	896	21
25 (1)	809	49	3126	157	631	63
30 (1)	628	50	2417	129	431	20
35 (1)	410	47	1638	68	340	14
40 (1)	322	37	1283	99	260	31
45 (1)	295	54	1131	43	216	29
50 (1)	158	32	863	78	183	25
55 (1)	154	36	700	46	149	14
60 (1)	119	24	653	66	127	17
65 (1)	109	24	486	14	122	24
70 (1)	104	15	493	49	101	23
75 (1)	110	22	385	32	89	15
80 (1)	64	14	348	23	83	11
85 (1)	62	30	338	6	71	17
90 (1)	76	26	287	71	65	12
95 (1)	48	11	223	64	59	14
100 (1)	36	5	232	26	52	15

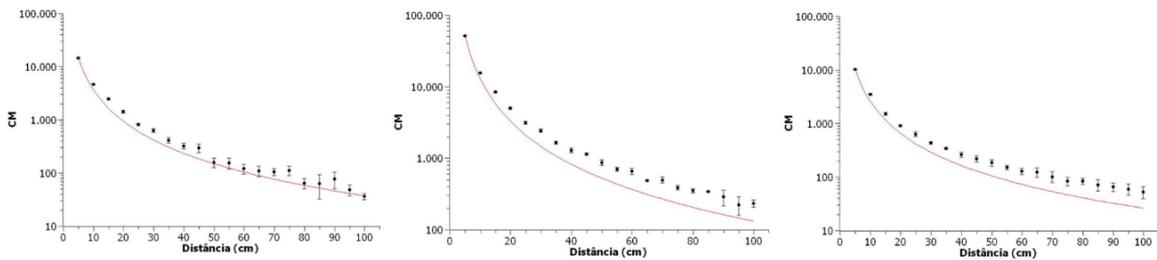


Figura 5 – CM' x DP' - (A) DC 1 (B) DC 2 (C) DC 3

O DPM' para os três DCs é apresentado no Figura 6 – A, em que foi realizado um ajuste linear, conforme a equação 2, na distribuição de dados de cada DC.

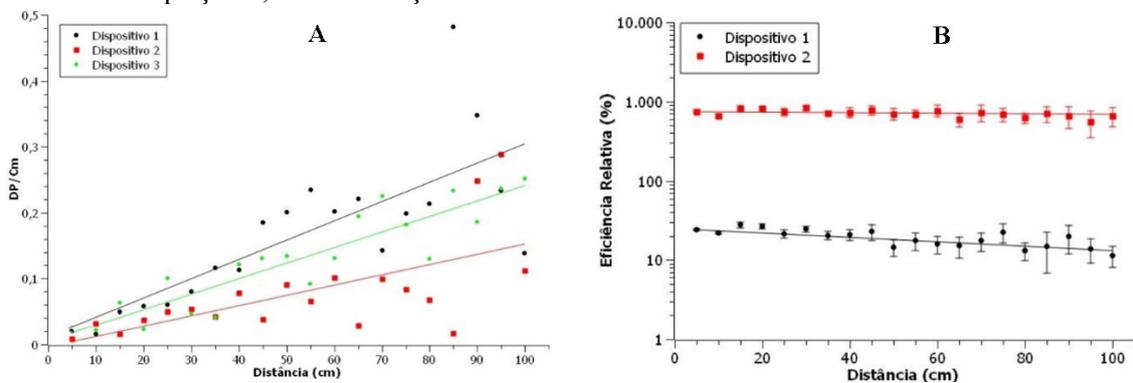


Figura 6– (A) DPM' e (B) ER'

Os valores dos parâmetros  $**a$ ,  $**b$  e  $**R^2$  seguem indicados na Tabela 8.

Tabela 8 – Coeficientes de ajuste e coeficiente de determinação

DC	$**a$ (cm <sup>-1</sup> )	$**b$	$**R^2$ (%)
1	0,0029 (6)	0,01 (4)	86,93
2	0,0016 (4)	0,00 (3)	73,39
3	0,0024 (3)	0,01 (2)	95,65

A comparação da ER' dos DCs 1 e 2 em relação ao DC 3 é apresentada na Figura 6 - B. Nele é possível identificar o ajuste linear, dado pela equação 2, para os dados de cada DC; os valores dos parâmetros  $***a$ ,  $***b$  e  $***R^2$  seguem indicados na Tabela 9.

Tabela 9 – Coeficientes de ajuste e coeficiente de determinação

DC	$***a$ (cm <sup>-1</sup> )	$***b$	$***R^2$ (%)
1	-0,001 (1)	0,245 (5)	59,16
2	-0,006 (6)	7,4 (2)	3,26

É possível verificar que o número de contagens reduziu com o aumento distância S-F, além disso, nenhum dos DCs apresentaram uma região de saturação em qualquer posição. Os DC 2 e DC 3 apresentaram contagens relativas mais coerentes entre si, indicando serem os mais precisos. Isto pode ser verificado a partir dos resultados obtidos, com seus ajustes lineares, em que as linhas de tendência retas são as que possuem inclinações mais próximas. Por outro lado, o DC 1 foi relativamente menos preciso, pois possui maior coeficiente angular. A análise dos gráficos nas figuras e tabelas mostram que o DC 2 teve uma eficiência de detecção superior, em comparação aos DC 1 e DC 3. A Figura 6- B ilustra a eficiência relativa dos DC 1 e DC 2 em comparação ao DC 3, com o DC 2 demonstrando maior eficiência em todas as distâncias. Ao analisar o DPM' de



cada DC, verificou-se um comportamento levemente dependente da distância para os DC 2 e DC 3 quando comparados ao DC 1; este, apresentou um coeficiente angular de  $0,0029 \text{ cm}^{-1}$  resultando em uma incerteza de medição que cresceu significativamente, junto do aumento da distância. Em resumo, o DC 2 mostrou-se o mais eficiente e preciso para a fonte de Am-241, seguido pelo DC 3, com o DC 1 sendo o de menor eficiência e precisão entre os três.

### 3.3 Comparativo de detecção entre as Fontes.

Foi calculada a precisão relativa entre os DC 1, DC 2 e DC 3, para a fonte de Am-24, em relação a fonte de Cs-137, os valores seguem na Tabela 10.

Tabela 10 – Dispositivos e precisão relativa

DC	1	2	3
PR (%)	370,19	224,91	255,93

Todos os DCs demonstraram maior precisão para a fonte de Am-241, isto pode ser justificado pela eficiência de detecção ser inversamente proporcional à energia do fóton incidente. A fonte de Cs-137 possui fótons cerca de 11,1 vezes mais energéticos que os da fonte de Am-241, resultando em menor precisão na detecção.

## 4. CONCLUSÃO

A investigação sobre o uso de sensores fotográficos de DCs como detectores contadores de radiação gama revelou resultados promissores, embora com limitações significativas. A análise detalhada dos dados obtidos dos três DCs distintos demonstrou que os sensores CMOS podem, de fato, detectar radiação gama, apresentando uma resposta quantificável às exposições radiológicas.

A pesquisa viabilizou demonstrar que todos os DCs estudados são capazes de detectar radiação gama, com eficiência de detecção que varia entre eles. O DC 2 destacou-se com uma eficiência de detecção superior em comparação aos DCs 1 e 3. A análise dos resultados indicaram que a eficiência de detecção é inversamente proporcional à energia do fóton incidente, corroborando a hipótese de que fótons de menor energia, como os emitidos pela fonte de Am-241, são mais eficientemente detectados em comparação com fótons de maior energia, como os emitidos pela fonte de Cs-137.

A precisão relativa dos DCs foi maior para a fonte de Am-241, sendo a eficiência e a precisão dos sensores uma função complexa que envolve a energia do fóton incidente, a configuração do sensor e as características específicas de cada DC. Os valores de precisão relativa mostraram que, apesar das limitações intrínsecas, os sensores fotográficos podem fornecer medições consistentes, especialmente em emergências onde equipamentos de detecção padrão podem não estar disponíveis.

A principal limitação observada foi a saturação dos sensores em altas taxas de incidência de radiação, particularmente notada no DC 2 para determinadas distâncias da fonte de Cs-137. Isso ressalta a necessidade de uma calibração cuidadosa e a compreensão das limitações operacionais de cada DC para evitar leituras errôneas em situações de alta exposição radiológica.

De maneira geral, os sensores fotográficos de DCs apresentam um potencial significativo como detectores contadores de radiação gama em emergências radiológicas. Apesar das limitações em termos de precisão e eficiência absoluta, DCs podem servir como uma ferramenta provisória



valiosa para a detecção inicial de radiação ionizante, contribuindo para a mitigação de danos à saúde pública. Estudos futuros devem focar em aprimorar a calibração desses DCs e explorar a integração de algoritmos avançados de processamento de imagem para melhorar a precisão e a confiabilidade das medições.

#### AGRADECIMENTOS

Este trabalho está inserido no CNPQ/INCT-Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia em Instrumentação Nuclear e Aplicações na Indústria e Saúde (INAIS) (projeto 406303/2022-3). Os autores agradecem ao financiamento parcial dos órgãos de fomento FAPERJ, CAPES e CNPQ.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <https://portal.fgv.br/artigos/panorama-uso-ti-brasil-2022> acessado em: 10/03/2023.
- [2] STEFANOV, K. D. CMOS Image Sensors. Bristol, UK: IOP Publishing (2022).
- [3] GUERRINI, N. C. Design of CMOS detectors for electrons and X-rays. Apresentação de slides. Disponível em: <https://indico.cern.ch/event/774201/contributions/3463471/>. acessado em 20/03/2023.
- [4] International Atomic Energy Agency. The Fukushima Daiichi Accident. Vienna, AT: IAEA Publishing (2015).
- [5] ISHIGAKI, Y *et al.* Development of Mobile Radiation Monitoring System Utilizing Smartphone and Its Field Tests in Fukushima. IEE Sensors Journal (2013).
- [6] ISHIGAKI, Y *et al.* Participatory radiation information monitoring with SNS after Fukushima. In: ISCRAM, n°12, 2015, Kristiansand. ISCRAM 2015 Conference Proceedings - 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management. Kristiansand: Information Systems for Crisis Response and Management, ISCRAM (2015).
- [7] <https://semiconductor.samsung.com/image-sensor/mobile-imagesensor> acessado em: 01/09/2023.
- [8] <https://nucleardata.nuclear.lu.se/> acessado em: 15/10/2023.
- [9] <https://radioactivity-counter.softonic.com.br/android> acessado em: 08/01/2023.