

Desenvolvimento de aplicativo para Análise de Risco Radiológico

Aluno: Diogo Ferreira do Nascimento

Matrícula: 1113331040

Orientador: Prof. Dr. Maurício Quelhas Antolin

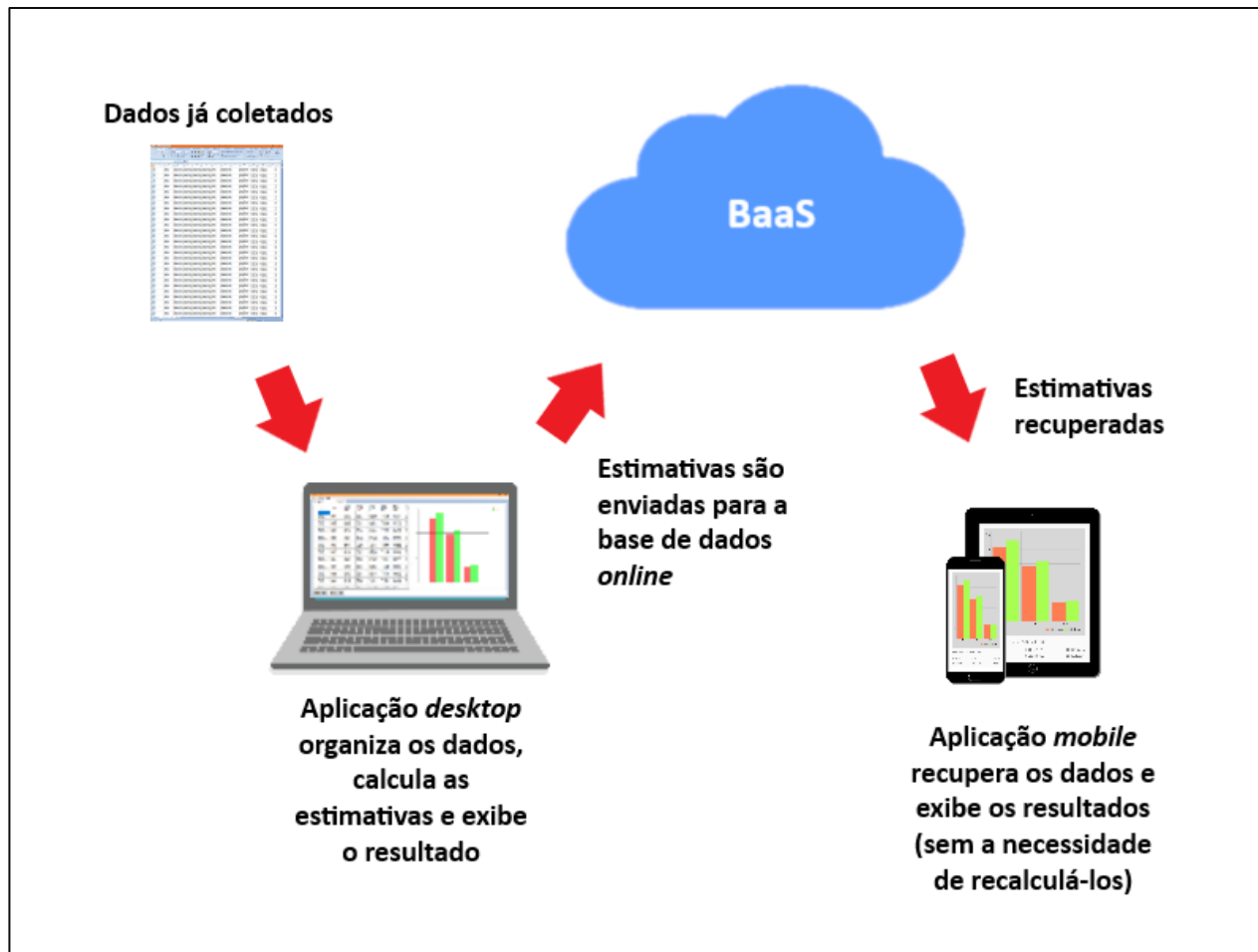
Introdução

- Este trabalho propõe um sistema de análise de risco baseada no documento *Biological Effects of Ionizing Radiation committee VII* (BEIR VII), para identificar a incidência de leucemia e determinar efeitos estocásticos em indivíduos expostos a baixas doses de radiação ionizante.

Introdução

- O sistema possui a capacidade de organizar dados de levantamentos radiométricos feitos com o aparelho de detecção SpiR-ID, e aplicar equações do BEIR VII para calcular as estimativas de Excesso de Risco Relativo para o surgimento da leucemia;
- Uma aplicação *desktop* faz todo o processamento, exibe o resultado através de gráficos e pode ainda enviar as estimativas para aplicações Android.

Fluxo do sistema



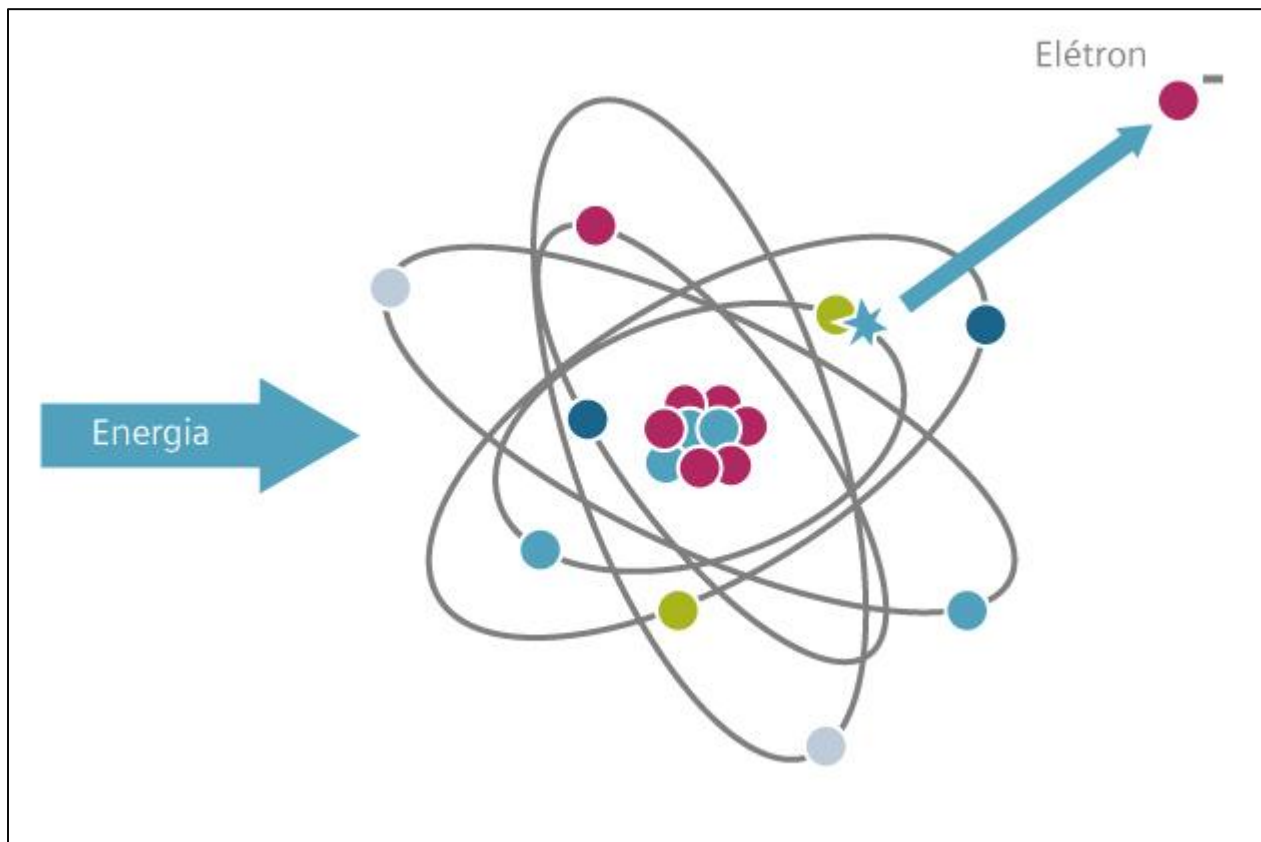
Radiação ionizante

- É a radiação que possui capacidade energética suficiente para arrancar um elétron de um átomo ou de uma molécula, transformando-o em um par de íons;
- Partículas carregadas como elétrons, prótons e partículas-alfa são definidas como diretamente ionizantes, ou seja, são capazes de produzir ionização em um meio;
- Indiretamente ionizantes são as partículas sem carga: fótons (raios X e raios gama (γ)) e nêutrons.

Radiação ionizante

- Por terem energia suficiente para ionizar átomos e moléculas, as radiações são capazes de alterar conformações eletroquímicas, resultando em elétrons livres de alta energia, íons positivos ou radicais livres, que são responsáveis por produzir quebras de ligações químicas de uma célula.

Radiação ionizante



Fontes naturais e artificiais de radiação

- Fonte natural:
 - Radiação cósmica:
 - Elementos químicos sintetizados no momento da explosão de uma supernova, que são dispersos através do espaço sideral.
- Fontes artificiais:
 - Dispositivos de diagnóstico e terapia na medicina;
 - Aparelhos medidores e de radiografias usados na indústria e comércio;
 - Instalações do ciclo de combustível nuclear e máquinas utilizadas nas pesquisas científicas.

Efeitos biológicos

- A relação entre exposição à radiação ionizante e os efeitos biológicos induzidos no homem foi estabelecida pela observação de efeitos danosos em pessoas nas primeiras exposições com raios X, e em exposições com radionuclídeos sofridas pelos pioneiros nas descobertas sobre radioatividade.
 - como exemplo o caso de Marie Curie, que, junto de seu marido, descobriu o polônio (Pu) e o rádio (Ra), e que faleceu por conta de uma grave leucemia devido à exposição maciça a radiação de suas descobertas.

Marie Curie



Exposição à radiação

- A exposição do homem ou parte de seus tecidos à radiação, pode ter resultados bem diferentes:
 - Se ocorreu de uma única vez (exames radiológicos, como tomografia);
 - Se ocorreu de maneira fracionada (tratamento radioterápico);
 - Se ocorreu periodicamente (rotinas de trabalho com material radioativo em instalações nucleares).

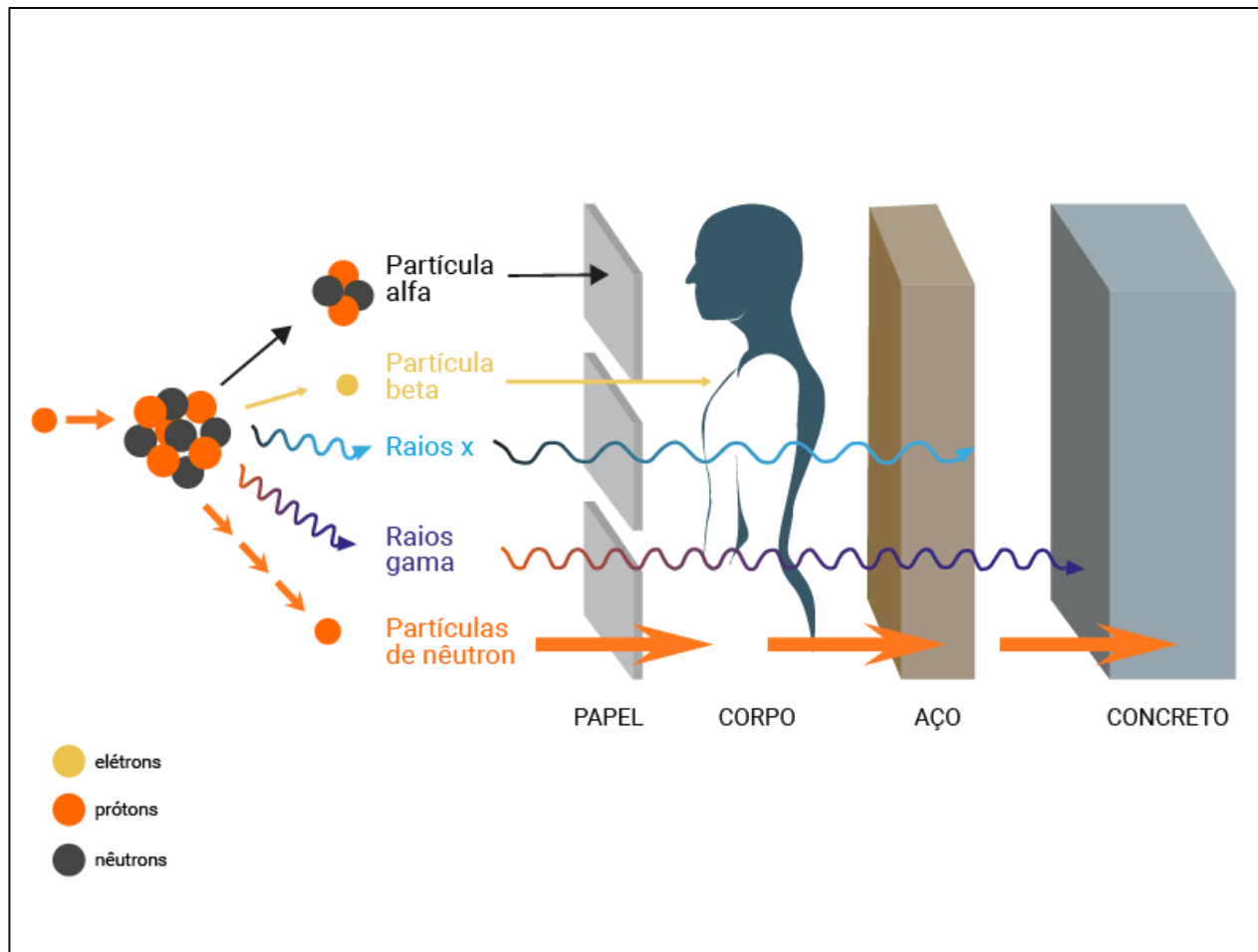
Exposição à radiação

- Ainda, a reação de um indivíduo exposto à radiação depende de outros fatores, tais como:
 - Quantidade total (acumulativa) de radiação recebida;
 - Quantidade total (acumulativa) de radiação recebida anteriormente pelo organismo, sem recuperação;
 - Textura orgânica individual;
 - Dano físico recebido simultaneamente com a dose de radiação (como queimaduras devido ao calor gerado);
 - Intervalo de tempo durante o qual a quantidade total de radiação foi recebida.

Exposição à radiação

- A radiação alfa é constituída por núcleos de hélio (sem elétrons) e pode ser detida por uma folha de papel;
- A radiação beta é constituída pelo envio de apenas um elétron rápido e pode ser detida por uma folha de alumínio, pedaço de plástico e tecido humano;
- A radiação gama, constituída por ondas eletromagnéticas é absorvida ao penetrar um material mais denso (como concreto ou chumbo);
- As partículas de nêutron podem atravessar o concreto.

Exposição à radiação



Exposição à radiação

- Os fótons (raios X e raios gama) e nêutrons constituem as radiações mais penetrantes e causam danos biológicos diferentes conforme a taxa de dose, energia e tipo de irradiação.

Exposição à radiação

- Quando a quantidade de efeitos biológicos é pequena, o organismo pode ser recuperar, sem que a pessoa perceba;
- Quando a quantidade ou frequência de efeitos biológicos produzidos pela radiação desequilibra o organismo humano ou o funcionamento de um órgão, surgem sintomas clínicos denunciadores da incapacidade do organismo de superar ou reparar tais danos, que são as doenças.

Efeitos estocásticos

- São efeitos cuja probabilidade de ocorrência é em função da dose de radiação recebida, não existindo limiar, como é o caso dos cânceres;
- Para qualquer indivíduo irradiado há uma chance de que certos efeitos atribuídos à radiação se manifestem, mas só depois de um período longo (dezenas de anos) a partir do momento que ocorreu o evento de irradiação.

Danos celulares

- O processo de ionização pode alterar a estrutura das moléculas ou átomos atingidos pela radiação.
 - Se a energia de excitação ultrapassar a energia de ligação química entre os átomos, pode ocorrer quebra dessas ligações, criando mudanças moleculares;
 - Se células são compostas por essas moléculas modificadas, elas sofrerão as consequências das alterações:
 - Produzindo radicais livres, íons e elétrons.

Danos celulares

- Se a molécula alterada possui papel crítico para o funcionamento da célula, pode resultar na alteração ou na morte da mesma;
- Quando a alteração molecular tem caráter deletério, ela significa um dano.

Danos celulares

- Os danos relacionados à molécula do DNA são os mais significativos:
 - Se o reparo é eficiente e em tempo curto, o DNA pode voltar à sua composição original;
 - As células danificadas podem morrer ao tentar se dividir, ou conseguir realizar reparos mediados por enzimas;
 - Em um reparo propenso a erros, pode dar origem a mutações na sequência de bases ou rearranjos mais grosseiros, podendo levar à morte reprodutiva da célula ou a alterações no material genético das células sobreviventes, com consequências em longo prazo.

Dose absorvida (D)

- Dose absorvida de radiação ou simplesmente dose (D), corresponde à energia que a radiação deposita por unidade de massa, com unidade de medida denominada *Gray* (Gy), equivalente a 1 Joule/kg.
- É definida como uma função num ponto P, de interesse:

$$D = \frac{d_{\varepsilon}^-}{dm}$$

Dose Equivalente (H)

- A dose absorvida (D) leva em conta a energia absorvida no ar e no tecido humano, mas ainda não dá uma ideia mais concreta dos efeitos biológicos no homem;
- A Dose Equivalente é obtida multiplicando-se D pelo fator de qualidade Q da radiação, e sua unidade de medida é o *Sievert* (Sv) que equivale a 1 Joule/kg:

$$H = D * Q$$

Fatores de influência

- **Idade:** o indivíduo é mais vulnerável à radiação quando criança ou idoso.
- **Sexo:** as mulheres são mais sensíveis, pois possuem órgãos reprodutores internos e os seios são constituídos de tecidos muito sensíveis à radiação.
 - Ainda existe o período de gestação, onde o feto apresenta a fase mais vulnerável à radiação e a mãe tem o organismo bastante modificado em forma, composição hormonal e química.

Leucemia

- Os primeiros indícios de que a exposição à radiação ionizante causava o desenvolvimento de leucemia foram objetos de estudos realizados com sobreviventes dos bombardeios atômicos de Hiroshima e Nagasaki durante a 2ª Guerra Mundial;
- Por ter baixo período de latência, a leucemia é a morbidade de interesse do BEIR VII;
- É uma doença que afeta diretamente a medula óssea, o sangue e o sistema linfático.

Modelo BEIR VII

- É um documento de estimativas de risco de cânceres em indivíduos expostos a radiações ionizantes de baixas doses e baixa transferência linear de energia, como os raios X e gama;
- Tem como princípio o *Life Span Study* (LSS), que são estatísticas obtidas a partir do estudo feito pela *Radiation Effects Research Foundation* (RERF) com um grupo de cerca de 120.000 sobreviventes das bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki, em 1945;
- O BEIR VII limita como baixas doses valores até 100 mSv (0,1 Sv) para radiações *low-LET*.

Modelo BEIR VII

- A função proposta pelo BEIR VII para leucemia é expressa como uma função linear-quadrática da dose que depende de sexo, idade de exposição e tempo desde a exposição:

$$ERR(D, s, e, t) = \beta_s(D + \theta D^2) \exp [\gamma e^* + \delta \log\left(\frac{t}{25}\right) + \varphi e^* \log\left(\frac{t}{25}\right)]$$

Modelo BEIR VII

| Parâmetro | Modelo ERR |
|-----------|-----------------------------------|
| β_M | 1,1 por Sv |
| β_F | 1,2 por Sv |
| γ | -0,40 por década |
| δ | -0,48 |
| ϕ | 0,42 |
| θ | 0,87 por Sv |
| e | Para $e < 30$: $e^* = (e-30)/10$ |

Modelo BEIR VII

- B_s representa ERR/Sv por sexo, diferenciado em β_M (homens) e β_F (mulheres).
- Constante γ é expressa por aumento de década na idade desde a exposição;
- Constante δ indica dependência desde a exposição do indivíduo;
- ϕ é uma constante independente de sexo (s), idade (e) e tempo (t), relacionada ao grau de curvatura da função.

Modelo BEIR VII

- Logo, a equação proposta pelo BEIR VII para leucemia é dependente apenas de D , já que as outras constantes são definidas pelo modelo.

Levantamento radiométrico

- O levantamento utilizado como fonte de dados deste trabalho é feito a partir do uso do equipamento especial para análise e detecção de radiação chamado SpiR-ID:



Levantamento radiométrico

- Os dados coletados pelo SpiR-ID são enviados para um computador que contenha o programa SPIR;
- Este programa organiza os dados em um arquivo de texto (com valores separados por ponto-e-vírgula) separado em colunas com cada tipo de dado levantado.
- As colunas utilizadas neste trabalho são:
 - *Date*
 - *Gamma ground dose rate($\mu\text{Sv/h}$)*
 - *Cosmic dose rate($\mu\text{Sv/h}$)*

Levantamento radiométrico

| | A | B | AB | AC | BS | BT |
|------|------|------------------|--|--------------------------------------|----|----|
| 1 | # | Date | Gamma ground dose rate($\mu\text{Sv/h}$) | Cosmic dose rate($\mu\text{Sv/h}$) | | |
| 2 | 1 | 12/04/2016 11:20 | 0,02058 | 0,03842 | | |
| 3 | 2 | 12/04/2016 11:20 | 0,02278 | 0,03842 | | |
| 4 | 3 | 12/04/2016 11:20 | 0,00899 | 0,03842 | | |
| 5 | 4 | 12/04/2016 11:20 | 0,02787 | 0,03841 | | |
| 6 | 5 | 12/04/2016 11:20 | 0,02113 | 0,03841 | | |
| 7 | 6 | 12/04/2016 11:20 | 0,02154 | 0,03841 | | |
| 8 | 7 | 12/04/2016 11:20 | 0,01425 | 0,03841 | | |
| 9 | 8 | 12/04/2016 11:20 | 0,01671 | 0,03844 | | |
| 10 | 9 | 12/04/2016 11:20 | 0,01937 | 0,03847 | | |
| 11 | 10 | 12/04/2016 11:20 | 0,01617 | 0,03846 | | |
| 12 | 11 | 12/04/2016 11:20 | 0,02145 | 0,03846 | | |
| 4497 | 4496 | 12/04/2016 12:35 | 0,02888 | 0,03853 | | |
| 4498 | 4497 | 12/04/2016 12:35 | 0,03639 | 0,03854 | | |
| 4499 | 4498 | 12/04/2016 12:35 | 0,03261 | 0,03854 | | |
| 4500 | 4499 | 12/04/2016 12:35 | 0,03397 | 0,03854 | | |
| 4501 | 4500 | 12/04/2016 12:35 | 0,024 | 0,03855 | | |
| 4502 | 4501 | 12/04/2016 12:35 | 0,02262 | 0,03854 | | |
| 4503 | 4502 | 12/04/2016 12:35 | 0,02522 | 0,03854 | | |
| 4504 | 4503 | 12/04/2016 12:35 | 0,0312 | 0,03854 | | |
| 4505 | 4504 | 12/04/2016 12:35 | 0,02696 | 0,03854 | | |
| 4506 | 4505 | 12/04/2016 12:35 | 0,03508 | 0,03854 | | |
| 4507 | 4506 | 12/04/2016 12:35 | 0,04024 | 0,03854 | | |
| 4508 | 4507 | 12/04/2016 12:35 | 0,02835 | 0,03854 | | |
| 4509 | | | | | | |

Processamento dos dados coletados

- O programa *Análise de Risco* é responsável por coletar as colunas de interesse do arquivo de levantamento radiométrico;
- Calcula D através da soma entre cada valor da coluna *Gamma ground dose rate* ($\mu\text{Sv/h}$) com cada valor da coluna *Cosmic dose rate* ($\mu\text{Sv/h}$);
- Os valores da coluna *Date* são utilizados exclusivamente para criar o identificador de cada arquivo a ser lido pelo programa *desktop*.

Processamento dos dados coletados

- O programa *Análise de Risco* possui funções específicas para calcular o Excesso de Risco Relativo, onde são definidas a partir de:
 - Sexo dos indivíduos
 - Tempo após exposição
 - 10 anos
 - 20 anos
 - 30 anos ou mais.

Processamento dos dados coletados

- Funções específicas para indivíduos do sexo masculino:

| Tempo após exposição | Função |
|----------------------|--|
| 10 anos | $ERR(D, s, e, t) = 1,1(D+0,87D^2)5,59$ |
| 20 anos | $ERR(D, s, e, t) = 1,1(D+0,87D^2)4,17$ |
| 30 anos ou mais | $ERR(D, s, e, t) = 1,1(D+0,87D^2)1,40$ |

Processamento dos dados coletados

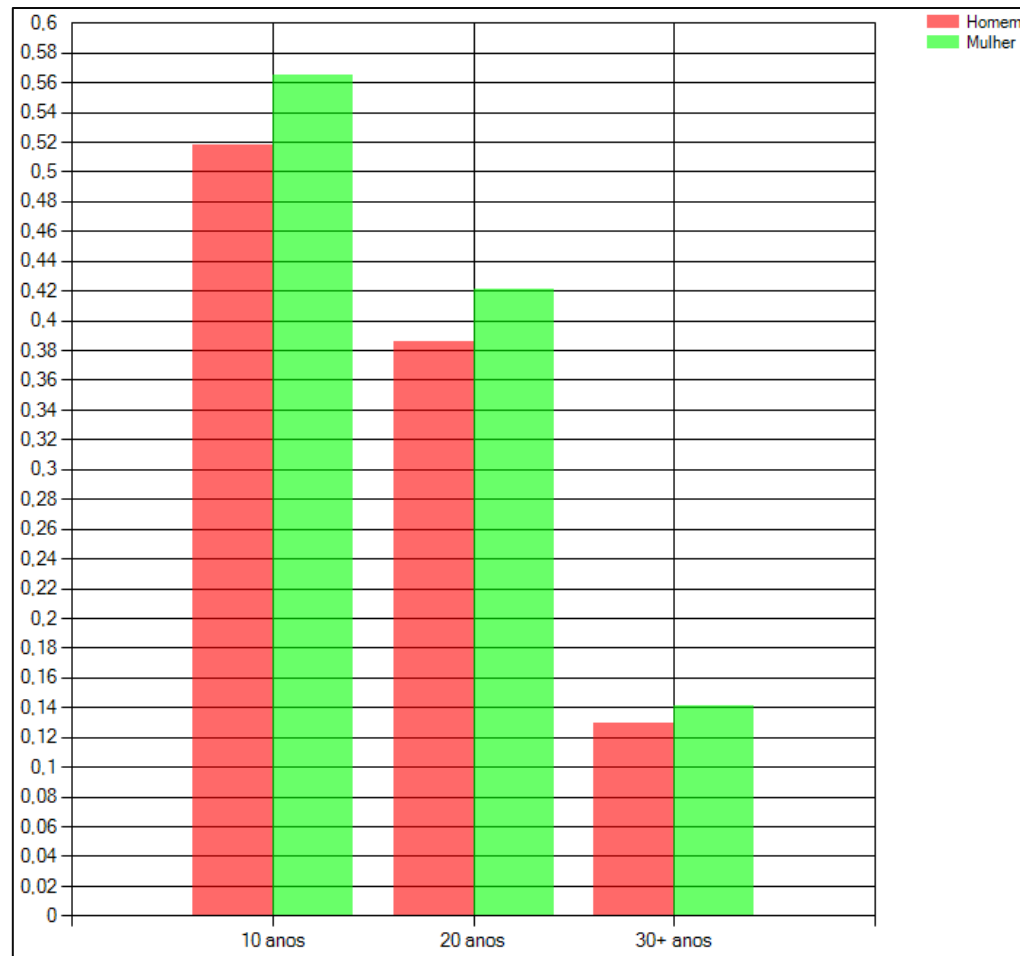
- Funções específicas para indivíduos do sexo feminino:

| Tempo após exposição | Função |
|----------------------|--|
| 10 anos | $ERR(D, s, e, t) = 1,2(D+0,87D^2)5,59$ |
| 20 anos | $ERR(D, s, e, t) = 1,2(D+0,87D^2)4,17$ |
| 30 anos ou mais | $ERR(D, s, e, t) = 1,2(D+0,87D^2)1,40$ |

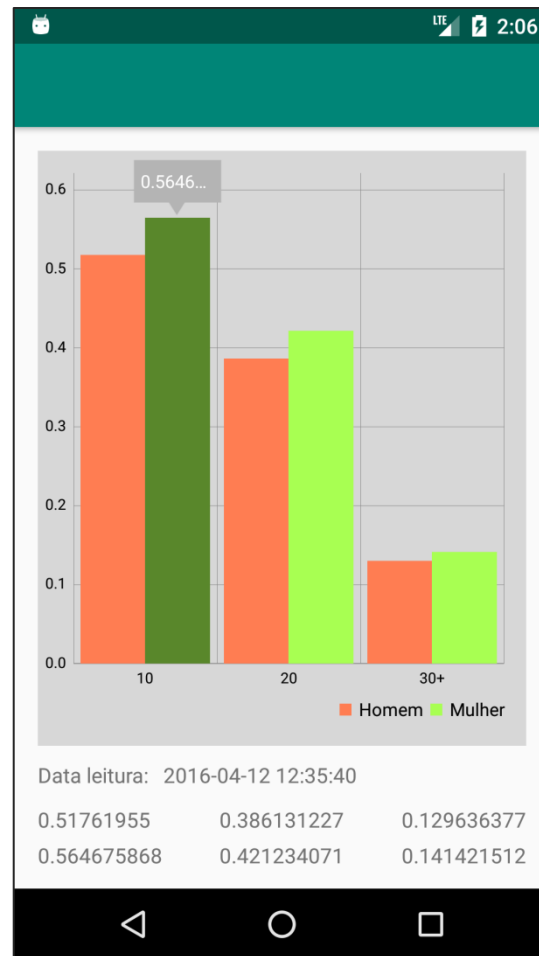
Visualização das estimativas

- Após os cálculos serem feitos pelo programa, as estimativas podem ser visualizadas através de um gráfico em barras;
- O programa ainda permite o envio das estimativas calculadas para uma base de dados *online* NoSQL do Firebase.
 - O Firebase será utilizado para sincronizar as estimativas de ERR/Sv com uma aplicação *mobile ERR*.
 - Que por sua vez, também gera a visualização das estimativas de ERR/Sv em tempo real na tela do *smartphone ou tablet*.

Visualização das estimativas



Visualização das estimativas



Conclusão

- O sistema desenvolvido neste trabalho pode ser usado na população que foi exposta a baixas doses de radiação (abaixo de 0,1 Sv);
- Pode ser utilizado como ferramenta auxiliar no processo decisório por órgãos competentes perante eventos radiológicos (atentados ou não);
- Também pode contribuir para que envolvidos nos eventos radiológicos que tenham interesse direto na resolução do problema e na busca das pessoas afetadas, possam decidir quais vítimas terão prioridade no atendimento médico após exposição.

Trabalhos Futuros

- Implementar um banco de dados próprio nas aplicações *desktop Análise de Risco* e *mobile ERR*;
- Implementar uma interface *web* mais robusta na aplicação *Análise de Risco*;
- Implementar opções de visualizações com outros tipos de gráficos;
- Utilizar outros dados contidos em outras colunas dos arquivos de levantamento radiométrico aéreo;
- Implementar sistema de notificações na aplicação *ERR*;

Trabalhos Futuros

- Criar versão híbrida do aplicativo *ERR*;
- Implementar sistema de autenticação na conexão com o Firebase;
- Permitir utilização de outros modelos (como o BEIR VII) de cálculo de risco para outros tipos de cânceres.

Referências

- BEIR VII, Phase II. **Health Risks From Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation**. ISBN 978-0-309-09156-5 | DOI 10.17226/11340, 2006.
- **Marie Curie Biographical**.
<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/biographical/>.
- ROTHER, F. **Metodologia de integração de dados e geração de interface dinâmica em tempo real para ações de respostas a eventos radiológicos utilizando veículo aéreo não tripulado**. Tese (Doutorado em Radioproteção e Dosimetria). Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2018.
- TAUHATA, *et al.* **Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos**. Rio de Janeiro: IRD, CNEN, 10ª Revisão, 2014.