

Artigo Original

Recebido em 05/08/2009, aceito em 09/11/2009

Sistema *on-line* para o cálculo de doses fetais de pacientes e trabalhadoras ocupacionalmente expostas em radiologia diagnóstica

On-line software for the estimation of fetal radiation dose to patients and staff members in diagnostic radiology

Paulo Roberto Costa*
Sybele Guedes de Paulo Groff

Departamento de Física Nuclear
Instituto de Física / USP
Rua do Matão, Travessa R, 187
05508-090 São Paulo, SP – Brasil
E-mail: pcosta@if.usp.br

*Autor para correspondência

Resumo

Neste trabalho descrevemos um sistema *on-line*, chamado “Dose Fetal Web”, que calcula a dose fetal e os riscos radiológicos devido a exposições clínicas ou ocupacionais de gestantes. O sistema utiliza a metodologia matemática onde são usados coeficientes de conversão de dose uterina para dose fetal, gerados por meio de simulações pelo método de Monte Carlo. Para exposição médica de uma paciente gestante, uma base de dados de informações de operação de equipamentos acompanhados por um programa de garantia de qualidade e parâmetros fetais e maternos coletados durante exames de ultrassonografia obstétrica são incorporados na estimativa da dose fetal. No caso de dose fetal de uma trabalhadora gestante sujeita à exposição ocupacional (IOE), informações de uma base de dados de monitoração pessoal como dose ocupacional e carga de trabalho são usadas nos cálculos. No primeiro caso, considerando-se uma paciente gestante de 26 semanas submetida a um procedimento abdominal AP (tensão aplicada ao tubo de 70 kVp e filtração total de 3 mmAl), a dose fetal calculada pelo sistema foi 4,61 mGy e os riscos radiológicos obtidos foram $5,0 \cdot 10^{-4}$ e 0,14 para a probabilidade de indução de retardamento mental e declínio de pontos de QI, respectivamente. No segundo caso, considerando-se uma IOE gestante, e assumindo-se que ela utilize um avental de proteção de 0,5 mm de equivalência em chumbo durante cada procedimento de radiologia intervencionista, e que a leitura pessoal de um dosímetro TLD portado fora do avental foi de 2 mGy/mês, a dose fetal calculada pelo sistema foi 0,02 mSv/mês.

Palavras-chave: Dose de radiação no feto, Exposição pré-natal, Paciente gestante, Riscos radiológicos.

Abstract

In this paper we describe an online software, named “Dose Fetal Web”, which calculates the dose of the fetus and the radiological risks from both medical and occupational exposures of pregnant women. The software uses a mathematical methodology where coefficients for converting uterus to fetal dose, NUD, have been calculated by using Monte Carlo simulation. In the fetal dose from diagnostic medical examination of the pregnant patient, database information regarding output and other equipment related parameters from the QA database, maternal and fetal parameters collected by ultrasound procedures were used for the fetal dose estimation. In the case of fetal dose of the pregnant staff member the database information regarding routine individual monitoring dosimetry, such as occupational dose and workload, were used for the estimation. In the first case, suppose a 26 weeks pregnant patient had to undergo a single AP Abdomen procedure (70 kVp peak tube voltage and total filtration 3 mmAl), the fetal dose calculated by the software was 4.61 mGy and the radiological risks would be $5.0 \cdot 10^{-4}$ and 0.14 to the probability of mental retardation induction and decline in the IQ score, respectively. In the second case, considering that the staff member can be pregnant, and assuming that she wore a 0.5 mm lead equivalent apron during every interventional radiology procedure and a personal dosimetry reading of 2 mGy_{TLD}/month measured with the TLDs outside the apron, the fetal dose calculated by the software was 0.02 mSv/month.

Keywords: Fetal radiation dose, Prenatal exposure, Pregnant patient, Radiological risks.

Extended Abstract

Introduction

The determination of the absorbed dose to the fetus in diagnostic radiology for pregnant patients as well as the fetal dose from occupational exposure of the pregnant worker is important because the fetus is particularly vulnerable to the effects of ionizing radiation.

When a woman is unaware of her pregnancy at the time of her radiological examination or when a pregnant patient must undergo a radiographic procedure, special procedures should be applied in order to prevent or minimize the fetal dose. These special procedures include information posters on the wall of the radiological department to capture the attention of a woman in reproductive age to advise her to announce the possibility of her pregnancy before the X-ray examination and the restriction of high dose procedures to the first 10 days of the menstrual cycle when conception is unlikely to have occurred.

The determination of the equivalent dose to the unborn child in diagnostic radiology is of interest as a basis for risk estimation from occupational exposures of the pregnant worker. Routine individual monitoring is necessary to ensure that occupational exposures are being kept as low as reasonably achievable (ALARA) and also that authorized limits are not exceeded. Radiation doses to occupationally exposed staff working with radiological equipments are generally low and it is unlikely that the equivalent dose limit recommended by the National Commission of Nuclear Energy (CNEN) and adopted in the Publication 453 of National Health Surveillance Agency (ANVISA) will be exceeded. However, for some fluoroscopic procedures there is a potential risk of higher radiation doses to staff.

Methods

In this paper we describe an online software, called "Dose Fetal Web", which can be accessed through the address <http://www.fma.if.usp.br/dosefetal>. This software calculates the dose to the fetus and the radiological risks from both medical and occupational exposures of the pregnant woman. The software was developed using the open source tool (PHP) scripts language and a relational database PostgreSQL. The mathematical model proposed by Osei et al. (2003) was incorporated into the web pages to calculate the fetal dose and the radiological risks from fetal exposures.

According to the mathematical methodology, the fetal dose was estimated by the use of conversion factors, called Normalized Uterine Dose (NUD), generated from Monte Carlo simulation (ESG4) by Osei et al. (2003). In the case of medical exposure of a pregnant woman, tables of NUD, stored in the database, are presented as the absorbed dose to the uterus relative to the Entrance

Surface Dose (ESD) (i.e. $\text{mGy}_{\text{tis}}/\text{mGy}_{\text{air}}$). For occupational exposure of the pregnant worker, tables of NUD also stored in the database are presented as the ratio of the equivalent dose to the uterus to TLD dosimeter reading (i.e. $\text{mSv}/\text{mGy}_{\text{TLD}}$).

In the fetal dose from diagnostic medical examination of the pregnant patient, database information regarding output and other equipment related parameters from the QA database, maternal and fetal parameters collected by ultrasound procedures were used for the fetal dose estimation. The program uses data provided by the user (patient information and technique factors used for the examinations) and the correspondent NUD to calculate the fetal dose. The result of the fetal dose is presented in a web page with the radiological risks associated with the prenatal exposure. A table with some threshold fetal doses for some deterministic effects following 'in utero' exposure like dead, gross malformation, growth and mental retardation, published in the literature, is also presented in this web page.

In the case of fetal dose of the pregnant worker the database information regarding routine individual monitoring dosimetry, like occupational dose and workload, were used for the estimation. The user will have to supply information about the pregnant worker (in the X-ray department or Cath Lab facilities) and the Approved Dosimetry Service (ADS) providing the personal dosimeter reading. The program uses also the lead apron and TLD configuration information to calculate the fetal dose in the monitoring period.

Results

In the first case, suppose a 26 weeks pregnant patient had to undergo a single AP Abdomen procedure (70 kVp peak tube voltage and total filtration 3 mmAl), the fetal dose calculated by the software was 4.61 mGy and the radiological risks would be $5.0 \cdot 10^{-4}$ and 0.14 to the probability of mental retardation induction and decline in the IQ score, respectively.

In the second case, considering that a Cath Lab staff member can be pregnant, and assuming that she wore a 0.5 mm lead equivalent apron during every interventional radiology procedure and a personal dosimetry read of $2 \text{ mGy}_{\text{TLD}}/\text{month}$ measured with the TLDs outside the apron, the fetal dose calculated by the software was $0.02 \text{ mSv}/\text{month}$.

Conclusion

This work will contribute to fetal dose and radiological risks evaluations of medical and occupational exposures of the pregnant women. These evaluations can benefit in making decisions and counseling the pregnant woman with regard to the effect of the ionizing radiation to the unborn child.

Introdução

A proteção do embrião ou feto de gestantes contra os efeitos danosos das radiações ionizantes é muito importante porque o feto é particularmente vulnerável a estes efeitos (Osei *et al.*, 2003; Wagner *et al.*, 1997). Assim, é fundamental poder determinar a dose absorvida pelo feto de pacientes gestantes submetidas a procedimentos de radiodiagnóstico tanto quanto a dose fetal proveniente da exposição ocupacional de um Indivíduo Ocupacionalmente Exposto – IOE gestante (Groff, 2008; Osei, 2000; Osei e Faulkner, 1999a; Osei e Kotre, 2001).

Quando uma mulher não está ciente de sua gravidez, por exemplo, nas primeiras semanas de gestação, ou quando uma paciente gestante necessita ser submetida a um exame de radiodiagnóstico, cuidados especiais devem ser adotados com o objetivo de prevenir ou minimizar a dose no útero (Osei e Faulkner, 1999a). Esses procedimentos especiais incluem desde pôsteres informativos afixados na parede de entrada do departamento de radiologia para chamar a atenção de mulheres em idade reprodutiva no sentido de alertarem sobre quaisquer possibilidades de gestação antes do procedimento com raios X, e na restrição de procedimentos que envolvem altas doses nos primeiros 10 dias do ciclo menstrual onde é menor o risco de concepção (Brasil, 1998; ICRP, 1991; 2000).

A investigação da dose equivalente no embrião ou feto em radiologia diagnóstica é uma das áreas de interesse como base para a estimativa dos riscos de exposições de IOE gestantes. Neste sentido, a monitoração individual rotineira é necessária para certificar-se que a exposição ocupacional seja mantida tão baixa quanto razoavelmente possível (ALARA) e também que os limites de dose individual autorizados não sejam excedidos durante este período de monitoração (Brasil, 1998). Geralmente as doses de radiação às quais os IOE que operam equipamentos radiológicos estão sujeitos são baixas, sendo improvável que o limite de dose recomendado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) (Brasil, 2005b) e adotado na Publicação 453 (Brasil, 1998) pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) seja excedido. No entanto, para alguns procedimentos guiados radioscopicamente (fluoroscopia) existe um risco potencial de maior dose de radiação nos IOE.

Os objetivos do presente trabalho são descrever o sistema *on-line*, chamado “Dose Fetal Web”, desenvolvido para a avaliação de dose fetal de exposições médicas e ocupacionais em radiologia diagnóstica, e apresentar alguns exemplos de seu uso, considerando casos hipotéticos de pacientes e IOE gestantes.

Métodos

O sistema *on-line* apresentado neste trabalho foi desenvolvido utilizando-se ferramentas de *software* livre como linguagem *script* PHP e um banco de dados relacional PostgreSQL. O modelo matemático, sugerido por Osei *et al.* (2003), foi incorporado às páginas eletrônicas para calcular a dose fetal e os riscos radiológicos de exposições pré-natais.

De acordo com a metodologia matemática, a dose fetal foi estimada usando-se fatores de conversão de dose uterina para dose fetal, chamados de Dose Uterina Normalizada (NUD), gerados por Osei (2000) por meio de simulações pelo método de Monte Carlo (ESG4). No caso da exposição médica da paciente gestante, tabelas de coeficientes NUD, incorporados na base de dados do sistema, são apresentadas como sendo a dose absorvida no útero relativa à Dose na Superfície de Entrada (DEP) (Osei, 2000; Osei e Faulkner, 1999a). Para a exposição ocupacional de uma IOE gestante, tabelas de NUD também inseridas na base de dados do sistema são apresentadas como sendo a razão entre a dose equivalente no útero relativa à leitura do dosímetro TLD (i.e. $\text{mSv/mGy}_{\text{TLD}}$) (Osei, 2000; Osei e Kotre, 2001).

Outros fatores que afetam a dose fetal são informações de entrada importantes requeridas pelo usuário do sistema, como:

- a) A máxima espessura AP da paciente gestante (cm): caso esta grandeza não seja uma informação conhecida pelo usuário, o sistema poderá estimar por meio do Diâmetro Cilíndrico Equivalente de Paciente. Esta metodologia leva em consideração os dados de entrada de peso (kg) e altura (m), assumindo-se o corpo da paciente como sendo um cilindro de densidade de $1,0 \text{ g/cm}^3$ (Lindskoug, 1992);
- b) A profundidade (média) do feto (cm): esta é uma grandeza importante nos cálculos de dose fetal e na escolha do coeficiente NUD apropriado. A profundidade do feto no abdômen materno pode ser determinada por meio de exame de ultrassom. No entanto, caso esta medida não seja conhecida pelo usuário, ela pode ser estimada como aproximadamente 30% da espessura AP da paciente gestante (Osei e Faulkner, 1999b; Ragozzino *et al.*, 1986); e
- c) A idade gestacional (IG) (semanas): é requerida pelo sistema com o propósito da escolha correta do fator de tamanho fetal (SF) e no cálculo dos riscos radiológicos. A IG pode ser determinada por meio do histórico menstrual, exame fisiológico ou de ultrassonografia obstétrica. É um fator importante, pois o risco para o feto varia conforme o avanço da IG (ICRP, 2007; NRPB, 1993a, b; Osei e Faulkner, 2000; Otake *et al.*, 1991).

Dose fetal de exposições médicas

A dose absorvida pelo feto (D_f) devido a uma série de procedimentos de radiodiagnóstico como função da dose de entrada na pele (DEP) para cada imagem adquirida, é calculada por meio da equação:

$$D_f = \sum_{i=1}^n \text{NUD}_{\text{PFM, DEP}, i} \cdot \text{DEP}_{\text{rad}, i} \cdot \text{SF}_i \quad (1)$$

onde n é o número de imagem radiológicas, $\text{NUD}_{\text{PFM, DEP}}$ é a dose uterina normalizada a uma profundidade fetal média PFM normalizada pela DEP_{rad} e SF é o fator de tamanho fetal (Osei, 2000; Osei e Faulkner, 1999a).

A DEP para procedimentos radiográficos é obtida por meio da expressão:

$$\text{DEP}_{\text{rad}} = \text{DEP}_{\text{CQ}} \cdot \left(\frac{\text{mAs}}{\text{mAs}_{\text{CQ}}} \right) \cdot \left(\frac{\text{DFF}_{\text{CQ}}}{\text{DFF}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\text{kVp}}{\text{kVp}_{\text{CQ}}} \right)^2 \quad (2)$$

onde mAs é o produto corrente-tempo, kVp é a tensão, e DFF é distância entre o foco e o filme empregados durante o procedimento radiológico. As informações mAs_{CQ} , kVp_{CQ} e DFF_{CQ} são dados provenientes da operação de equipamentos de hospitais e clínicas radiológicas acompanhados por um programa de garantia de qualidade. Estas variáveis são obtidas questionando-se os técnicos de radiologia que trabalham na sala radiológica sobre os parâmetros técnicos utilizados em um paciente normal (adulto não obeso e não muito magro) para a realização do procedimento radiológico em questão. O valor da DEP_{CQ} é obtido utilizando-se câmaras de ionização, seguindo a metodologia publicada no guia "Radiodiagnóstico Médico: Desempenho de Equipamentos e Segurança", aprovado pela Resolução 1016, de 03/04/2006 (RE/ANVISA nº 1016) (Brasil, 2005a).

Dose fetal de exposições ocupacionais

A dose equivalente no feto (F_{eq}) pode ser calculada por meio da equação:

$$F_{\text{eq}} = L \cdot \text{NUD}_{\text{OC}} \quad (3)$$

onde L é o valor da leitura dosimétrica da IOE gestante em um dado período de monitoração, e NUD_{OC} é a dose uterina ocupacional média normalizada (ou seja, a dose uterina média por leitura do dosímetro). Os valores de NUD_{OC} incorporados ao sistema *on-line* estão disponibilizados para simulações de procedimentos de radiografia convencional e de fluoroscopia para ambas as orientações de intensificador de imagens, acima ou abaixo da mesa do paciente. Além disso, podem-se considerar diferentes hipóteses de utilização dos dosímetros pessoais pela gestante durante o período de gravidez (sem o uso de avental de proteção, sob ou sobre o avental de proteção) (Osei, 2000; Osei *et al.*, 2003; Osei e Kotre, 2001).

Riscos radiológicos durante o período pré-natal

Para propósitos de radioproteção não é assumido o conceito de limiar de dose, e os cálculos de risco são baseados em um modelo linear de dose-resposta, com uma suposição adicional que o efeito também pode ocorrer para baixas doses de radiação (Osei e Faulkner, 1999b). Assim, o risco radiológico é obtido por meio da expressão:

$$R = RC \cdot D_f \quad (4)$$

onde R é o risco associado com a dose fetal D_f , e RC é o coeficiente de risco. Os coeficientes de risco utilizados no sistema *on-line*, extraídos da literatura (ICRP, 2007; NRPB, 1993a, b; Osei e Faulkner, 2000; Otake *et al.*, 1991), são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes de risco radiológico publicados na literatura (ICRP, 2007; NRPB, 1993a, b; Osei e Faulkner, 2000; Otake *et al.*, 1991) para alguns efeitos deletérios da radiação ionizante. A última coluna apresenta algumas explicações de sua aplicação. **Table 1.** Risk coefficients published in the literature (ICRP, 2007; NRPB, 1993a, b; Osei e Faulkner, 2000; Otake *et al.*, 1991) for some deleterious effect of ionizing radiation, with some explanations.

Efeito Deletério	RC (mSv ⁻¹)	Observações de Aplicação
Declínio de Pontos no QI	$2,90 \cdot 10^{-2}$	Assumido para todas as IG
Retardamento Mental Severo	$4,30 \cdot 10^{-4}$	Durante as semanas de 0-15. Após este período é assumido como sendo 4 vezes menor
Efeitos Hereditários	$0,20 \cdot 10^{-5}$ (a) $0,10 \cdot 10^{-5}$ (b)	
Câncer Infantil Fatal	$5,50 \cdot 10^{-5}$ (a) $4,10 \cdot 10^{-5}$ (b)	Assumido para todas as IG
Leucemia Fatal	$1,25 \cdot 10^{-5}$	

(a) Assumido para o público em geral exposto à radiação.

(b) Assumido para populações de IOE adultos expostos à radiação.

Sistema on-line

O aplicativo "Dose Fetal Web" (Figura 1), que pode ser acessado através do link <http://www.fma.if.usp.br/dosefetal/>, é um sistema on-line desenvolvido para a estimativa da dose de radiação no feto ou embrião (Groff, 2008). Ele calcula a dose absorvida e os riscos radiológicos para o feto decorrentes de procedimentos de radiologia convencional e fluoroscopia de pacientes gestantes, e calcula também a dose equivalente no feto devido à exposição ocupacional de IOE gestantes expostas durante as rotinas de trabalho em departamentos de radiologia. No momento em que um usuário previamente cadastrado no sistema efetua o login no "Dose Fetal Web", são fornecidas duas opções de menu de estudo de casos:

- 1) exposição médica de paciente gestante, e
- 2) exposição ocupacional de IOE gestante.

Quando a primeira opção "Exposição Médica" (Figura 2) é selecionada, o usuário deverá fornecer as seguintes informações sobre a paciente:

- a) Altura (m), massa corporal (kg) e espessura Ântero-Posterior (cm);
- b) Idade gestacional (semanas);
- c) Profundidade fetal média (cm).

O usuário deve também fornecer as seguintes informações da técnica utilizada durante o procedimento:

- a) Tipo de procedimento e projeção (Abdômen AP, Tórax PA ou LAT, e Coluna Lombar AP, JLS ou LAT);
- b) Distância foco-pele (cm);



Figura 1. Menu principal do sistema on-line "Dose Fetal Web" com as opções para os tipos de estudo de casos: "Exposição Médica" da paciente gestante e "Exposição Ocupacional" da IOE gestante. **Figure 1.** "Dose Fetal Web" main menu with the two types of case study: "Medical Exposure" of the pregnant patient and "Occupational Exposure" of the pregnant worker.

- c) Filtração total (mmAl);
- d) Número de imagens adquiridas;
- e) Tensão aplicada ao tubo (kVp);
- f) Produto corrente-tempo de exposição (mAs).

O sistema utiliza os dados fornecidos pelo usuário e o coeficiente NUD correspondente para calcular a dose fetal. A página eletrônica de resultados apresenta o valor obtido para a dose fetal deste estudo de caso, juntamente com os riscos radiológicos associados. Além dessas informações, esta página eletrônica fornece uma tabela com os valores de dose fetal para a ocorrência de alguns efeitos determinísticos de exposição *in utero* publicados na literatura (ICRP, 2007; NRPB, 1993a, b; Osei e Faulkner, 2000; Otake *et al.*, 1991), tais como óbito intra-uterino, malformações, retardamento mental e no crescimento.

No outro tipo de estudo de caso, "Exposição Ocupacional" (Figura 3) o usuário deverá fornecer as informações sobre a IOE gestante (IOE atuando em de-

Dose Fetal Médica - Estudo de Casos

Informações da paciente	
Massa corporal (kg):	60
Altura (m):	1.70
Espessura AP (EAP):	
EAP medida (cm):	
EAP estimada (cm):	21.2
Informações da gestação	
Idade Gestacional (semanas):	26
Profundidade Fetal Média (PFM):	
PFM medida (cm):	
PFM estimada (cm):	6.6
Informações do procedimento	
Procedimento:	Abdomen - AP
Distância Foco-Pele, DFP, (cm):	75
Filtração Total (mmAl):	3
Número de Filmes:	3
Tensão aplicada ao tubo (kVp):	70
Produto Corrente-tempo (mAs):	50
Calcular	

Figura 2. Formulário eletrônico disponibilizado para o estudo de caso de exposição médica de paciente gestante. **Figure 2.** Electronic form on the case study of the pregnant patient's medical exposure.

Dose Fetal Ocupacional - Estudo de Casos

Informações da IOE gestante	
Idade Gestacional (semanas):	26
Informações Dosimétricas	
Dose na superfície de entrada (Monitoração pessoal):	2 mGyTD
Período de monitoração:	1 meses
Uso do avental plumbífero	
Usou o avental de chumbo?	Sim
Qual a posição do dosímetro?	Sobre
Selecione a espessura do avental (em mm de equivalência em chumbo):	0.5
Calcular	

Figura 3. Formulário eletrônico para o estudo de caso de exposição ocupacional de IOE gestante. **Figure 3.** Electronic form on the case study of pregnant staff member's occupational exposure.

partamentos de radiologia convencional ou intervencionista) e a leitura dosimétrica em um dado período de monitoração fornecida pelo Serviço de Dosimetria Pessoal. O usuário também deverá fornecer as seguintes informações:

- Idade gestacional (semanas);
- Dose ocupacional (mGy_{TLD});
- Número total de meses do período de monitoração;
- Configuração do uso do avental de proteção (caso tenha utilizado este EPI durante a sua rotina de trabalho);
- Configuração usual do dosímetro TLD em relação ao avental de proteção (i.e. sob ou sobre este EPI);
- Equivalência em chumbo (mmPb) do avental de proteção.

O sistema utiliza o valor da monitoração pessoal da IOE e as informações da configuração do dosímetro TLD e uso de avental de proteção para calcular a dose equivalente no feto no período de monitoração fornecido pelo usuário.

A Tabela 2 apresenta um resumo das informações requeridas pelo sistema "Dose Fetal Web" para cada tipo de estudo de caso.

Resultados

Alguns exemplos de estudo de casos hipotéticos foram realizados no sistema *on-line*:

Exemplo 1: Procedimento radiológico

Uma paciente (60 kg e 1,70 m) estava na 26ª semana de gestação e precisou ser submetida a um procedimento de radiologia abdominal AP por motivos clínicos. As seguintes informações foram fornecidas, como ilustrado no formulário eletrônico apresentado na Figura 2:

- Tensão aplicada ao tubo: 70 kVp;
- Filtração total: 3 mmAl;
- Distância foco-pele: 75 cm;
- Produto corrente-tempo de exposição: 50 mAs;
- Número de imagens adquiridas: 3.

A espessura AP da paciente e a profundidade fetal média foram estimadas pelo sistema *on-line* como sendo 21,2 cm e 6,6 cm respectivamente. A dose fetal calculada foi 4,61 mGy. A página eletrônica de resultados está apresentada na Figura 4.

O resultado obtido para a dose fetal no sistema *on-line* está de acordo com valores de dose fetal médica publicados na literatura para este tipo de caso de exposição pré-natal (valor médio publicado de 4,29 mGy por procedimento) (Osei, 2000; Osei e Faulkner, 1999a; Wagner *et al.*, 1997).

Dose Fetal - Exposição Médica

Os dados inseridos foram:

Idade Gestacional: 26 semanas
 Massa corporal: 60,0 kg
 Altura: 1,70 m
 Espessura AP (estimada): 21,2 cm
 Profundidade do feto (estimada): 6,6 cm

Tipo da modalidade: Radiologia Convencional
 Procedimento - Projeção: Abdomen - AP
 Dose de Entrada na Pele (DEP) Total: 12,25 mGy
 Número de imagens: 3

Resultados obtidos:

Dose Fetal Total(D_F): 4,61 mGy

Risco Radiológico (baseado nos coeficientes de riscos reportados pela literatura) ^{1,3}				
Declínio de Pontos no Q1 ^a	Retardamento Mental Severo ^b	Efeitos Hereditários ^b	Câncer ^b	Leucemia ^b
$1384,3 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$0,8 \times 10^{-4}$	$0,6 \times 10^{-4}$

^a Probabilidade de ocorrência do declínio de 300×10^{-4} pontos no Q1 por mGy.
^b Um risco de 1×10^{-4} equivale à probabilidade de ocorrência de um caso do efeito para cada 10 mil indivíduos submetidos a esta dose fetal.

Para fins de comparação dos resultados, abaixo são apresentados os limiares de dose fetal para a ocorrência de alguns efeitos biológicos.

Limiares de dose fetal (mGy) (reportados pela literatura) ^{1,3}			
Óbito Intra-uterino	Malformações	Retardamento no Crescimento	Retardamento Mental
1000	500	500	Nenhum efeito observado (26+ semanas)

Figura 4. Página eletrônica de resultados do estudo de caso hipotético de uma paciente gestante submetida a um procedimento de radiologia abdominal AP.
Figure 4. Results electronic webpage on the hypothetical case study of the medical exposure of the pregnant patient who had an AP abdominal examination.

Tabela 2. Resumo das informações requeridas pelo sistema *on-line* "Dose Fetal Web" para o estudo de casos de exposição pré-natal. **Table 2.** Summary of the information required by the "Dose Fetal Web" to the dose fetal and radiation risk calculations.

Tipo de Exposição	Informações da Gestante	Grandeza Física Dosimétrica	Observações
Médica	Idade Gestacional (semanas) Espessura AP (cm) (ou massa (kg) e altura (m)) Profundidade Fetal Média (cm)	Dose na Entrada da Pele (mGy)	Fatores da técnica radiológica para a estimativa da DEP
Ocupacional	Idade Gestacional (semanas)	Dose Ocupacional (mGy_{TLD})	Configuração usual do uso do avental de proteção e do dosímetro TLD durante o período de monitoração

Exemplo 2: IOE gestante atuando em departamento de radiologia intervencionista

Os seguintes dados foram fornecidos, conforme ilustra o formulário eletrônico apresentado na Figura 3:

Idade Gestacional: 26 semanas;

Dose ocupacional: 2 mGy_{TLD};

Período de monitoração: 1 mês;

Configuração de uso do avental de proteção e do dosímetro TLD: dosímetro TLD portado sobre o EPI de 0,5 mmPb;

A dose equivalente no feto obtida pelo sistema foi 0,02 mSv / mês.

A página eletrônica com os resultados obtidos neste estudo de caso hipotético é apresentada na Figura 5.

A dose equivalente no feto obtida pelo sistema on-line está de acordo com dados de dose fetal publicados na literatura (valor médio publicado de 0,06 mSv / mês) (Osei e Kotre, 2001).

Dose Fetal Ocupacional - Estudo de Casos

Os dados inseridos foram:

Idade Gestacional: 26 semanas
Leitura pessoal: 2 mSv
Período de monitoração: 1 mês
Equivalência em chumbo do avental: 0.5 mm
Posição do TLD: sobre o avental de proteção

Resultados obtidos:

Dose Equivalente no Feto (F_{eq}): 0.02 mSv/mês

Risco Radiológico (baseado nos coeficientes de riscos reportados pela literatura ¹⁻³)				
Declínio de Pontos no QI ^a	Retardamento Mental Severo ^b	Efeitos Hereditários ^b	Câncer ^b	Leucemia ^b
5.8×10^{-4}	0.1×10^{-4}	0.005×10^{-4}	0.004×10^{-4}	0.003×10^{-4}

^a Probabilidade de ocorrência do declínio de 300×10^{-4} pontos no QI por mGy.
^b Um risco de 1×10^{-4} equivale à probabilidade de ocorrência de um caso do efeito para cada 10 mil indivíduos submetidos a esta dose fetal.

Para fins de comparação dos resultados, abaixo são apresentados os limites de dose fetal para a ocorrência de alguns efeitos biológicos.

Limites de dose fetal (mGy) (reportados pela literatura) ¹⁻³			
Óbito Intra-uterino	Malformações	Retardamento no Crescimento	Retardamento Mental
1000	500	500	Nenhum efeito observado (26+ semanas)

Figura 5. Página eletrônica de resultados do estudo de caso hipotético de uma IOE gestante atuando em departamento de radiologia intervencionista. **Figure 5.** Results electronic webpage on the hypothetical case study of the pregnant worker in Cath Lab facilities.

Conclusões

Este trabalho contribuirá para avaliações de dose fetal e riscos radiológicos no feto nos casos de exposição médica e ocupacional de gestantes, por meio de estudos de casos hipotéticos ou de situações reais de exposições pré-natais inadvertidas (por exemplo, durante as primeiras semanas quando a gestação ainda

não é conhecida). Essas avaliações poderão beneficiar na tomada de decisões e aconselhamento para a gestante nesta questão dos efeitos da radiação ionizante para o feto.

Deve-se alertar que o sistema apresentado não deve ser utilizado sem a devida orientação de um profissional com experiência em radioproteção, pois existe a possibilidade de que uma introdução inadequada de algum parâmetro possa levar a estimativas de doses fetais incorretamente altas, gerando preocupação desnecessária. Além disso, o programa tem resultados adequadamente calculados para aqueles casos de equipamentos submetidos a programas de controle de qualidade, para os quais valores realistas de DEP possam ser introduzidos para a execução dos cálculos.

O sistema on-line desenvolvido prevê formulários para a atualização das informações dos testes do PGQ dos hospitais e clínicas radiológicas já cadastrados e a incorporação de mais unidades médicas.

No caso do levantamento de dados de ultrassonografia obstétrica, as páginas eletrônicas do sistema preveem a inclusão de mais registros e sua imediata análise estatística.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo suporte financeiro parcial a este projeto (proc. nº 311751/2006-7). Os autores também agradecem aos colaboradores da STADI-IEE/USP, Dra. T. A. C. Furquim e sua equipe, e do INRAD-FMUSP, Dr. S. Kobayashi e sua equipe, pelo fornecimento de informações coletadas e inseridas na base de dados do sistema on-line.

Referências

- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. Portaria SVS-MS 453: Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico do Ministério da Saúde. **Diário Oficial da União**, Brasília, 02 de Junho de 1998.
- _____. **Radiodiagnóstico médico: Desempenho de equipamentos de segurança**. Brasília, 2005a.
- _____. Ministério da Ciência e Tecnologia. Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN. **Diretrizes básicas de radioproteção. Norma CNEN-NN 3.01**. Rio de Janeiro, 2005b.
- GROFF, S. G. P. **Desenvolvimento de um sistema on-line para a avaliação de doses fetais em radiologia diagnóstica**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION - ICRP. Publication 60: Recommendations of the International Commission Radiological Protection. In: **Annals of the ICRP**. Oxford: Pergamon Press, 1991. v. 21, p. 1-3.

- _____. Publication 84: Pregnancy and Medical Radiation. In: **Annals of the ICRP**. Oxford: Pergamon Press, 2000. v. 30.
- _____. Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. In: **Annals of the ICRP**. Oxford: Pergamon Press, 2007. v. 37, n. 2-4, cap. 3-4, p. 49-79.
- LINDSKOUG, B. A. The reference man in diagnostic radiology dosimetry. **The British Journal of Radiology**, v. 65, n. 773, p. 431-437, 1992.
- NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD - NRPB. **Diagnostic medical exposures**: Exposure to ionizing radiation of pregnant women: Biological Basis of the Board's Statement. Chilton, UK, 1993a. p. 5-14. (Documents of the NRPB 4).
- _____. **Estimates of late radiation risks to the UK population**. Chilton, UK, 1993b. p. 105-125, 1993b. (Documents of the NRPB 4).
- OSEI, E. K. **Assessment of fetal radiation dose to patients and staff in diagnostic radiology**. Thesis (PhD) - University of Newcastle Upon Tyne, Newcastle Upon Tyne, UK, 2000.
- OSEI, E. K.; DARKO, J. B.; FAULKNER, K.; KOTRE, C. J. Software for the estimation of foetal radiation dose to patients and staff in diagnostic radiology. **Journal of Radiological Protection**, v. 23, n. 2, p. 183-194, 2003.
- OSEI, E. K.; FAULKNER, K. Fetal position and size data for dose estimation. **The British Journal of Radiology**, v. 72, n. 856, p. 363 - 370, 1999a.
- _____. Fetal doses from radiological examinations. **The British Journal of Radiology**, v. 72, n. 860, p. 773-780, 1999b.
- _____. Radiation risks from exposure to diagnostic X-rays during pregnancy. **Radiography**, v. 6, n. 2, p. 131-144, 2000.
- OSEI, E. K.; KOTRE, C. J. Equivalent dose to the fetus from occupational exposure of pregnant staff in diagnostic radiology. **The British Journal of Radiology**, v. 74, n. 883, p. 629-637, 2001.
- OTAKE, M.; SCHULL, W. J.; YOSHIMARU, H. A review of forty-five years study of Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors. Brain damage among the prenatally exposed. **Journal of Radiation Research**, v. 32, suppl, p. 249-264, 1991.
- RAGOZZINO, M. W.; BRECKLE, R.; HILL, L. M.; GRAY, J. E. Average fetal depth in utero: data for estimation of fetal absorbed radiation dose. **Radiology**, v. 158, p. 513-515, 1986.
- WAGNER, L. K.; LESTER, R. G.; SALDANA, L. R. **Exposure of the pregnant patient to diagnostic radiations: A Guide to Medical Management**. 2 ed. Madison, WI: Medical Physics Publishing, 1997.