

Hospital de Clínicas de Porto Alegre
Programa de Residência em Área Profissional de Saúde

Joctã Ropke do Nascimento

**Avaliação da Dose Equivalente de Extremidade
em Indivíduos Ocupacionalmente Expostos no
Serviço de Medicina Nuclear do Hospital de
Clínicas de Porto Alegre**

Porto Alegre

2025

Joctã Ropke do Nascimento

**Avaliação da Dose Equivalente de Extremidade em
Indivíduos Ocupacionalmente Expostos no Serviço de
Medicina Nuclear do Hospital de Clínicas de Porto Alegre**

Trabalho de Conclusão de Residência apresentado ao Programa de Residência em Área Profissional da Saúde do Hospital de Clínicas de Porto Alegre como requisito parcial para a obtenção do título de especialista em Física Médica.

Orientadora : Fernanda Ramos de Oliveira

Coorientadora: Josiane Bueno Salazar

Porto Alegre

2025

CIP - Catalogação na Publicação

Nascimento, Joctã Ropke do

Avaliação da Dose Equivalente de Extremidade em
Indivíduos Ocupacionalmente Expostos no Serviço de
Medicina Nuclear do Hospital de Clínicas de Porto
Alegre / Joctã Ropke do Nascimento. -- 2025.

54 f.

Orientadora: Fernanda Ramos de Oliveira.

Coorientadora: Josiane Bueno Salazar.

Trabalho de conclusão de curso (Especialização) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Hospital de
Clínicas de Porto Alegre, Residência em Área
Profissional da Saúde: Física Médica - Medicina
Nuclear, Porto Alegre, BR-RS, 2025.

1. Medicina Nuclear. 2. Proteção Radiológica. 3.
Dosimetria. I. Oliveira, Fernanda Ramos de, orient.
II. Salazar, Josiane Bueno, coorient. III. Título.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	3
2	REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1	Monitoração Individual e Efeitos Biológicos	5
2.2	Grandezas Radiológicas e Dosimétricas	6
2.3	Dosimetria OSL	8
2.4	Dosimetria de extremidades	11
3	OBJETIVOS	14
3.1	Geral	14
3.2	Específicos	14
4	RESULTADOS	15
5	CONCLUSÕES	32
	REFERÊNCIAS	34
	APÊNDICE A – TCLE	37
	ANEXO A – LABORATÓRIOS CERTIFICADOS PELO CASEC/IRD	39
	ANEXO B – PARECER EMITIDO PELO CEP	40
	ANEXO C – MODELO DE ARTIGO BJRS	45

1 Introdução

A medicina nuclear é uma especialidade médica que utiliza fármacos marcados com material radioativo, que atuam como traçadores de processos metabólicos, para fins diagnósticos e terapêuticos. Assim como em outras modalidades que utilizam radiação ionizante, como radiografia, fluoroscopia, tomografia computadorizada e radioterapia, o uso não controlado de radiação ionizante pode causar efeitos biológicos à saúde dos indivíduos - tanto aos pacientes, quanto àqueles que se expõem ocupacionalmente. Por essa razão, os indivíduos que trabalham com radiação são monitorados quanto à dose de radiação recebida durante a sua jornada de trabalho. Cada país possui normativas específicas que regulam a monitoração de indivíduos e limitam os valores de dose que podem ser recebidos por estes (1, 2, 3). Orientadora

A monitoração de indivíduos ocupacionalmente expostos (IOEs) tem um papel importante, tanto no âmbito de proteção radiológica, quanto no cumprimento de questões normativas. Existem diferentes tipos de monitoração que permitem analisar se as medidas de proteção radiológica são eficientes e se boas práticas de trabalho estão sendo seguidas, além de fornecer um valor estimado de dose efetiva e dose equivalente à partir da leitura de monitores de radiação (dosímetros). No Brasil, é exigido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) o uso de monitores de radiação de corpo inteiro e de extremidade, quando aplicáveis. A CNEN define, através de normativa, que todo IOE que manipula ou administra radiofármacos deve utilizar um monitor de extremidade (4). Em serviços de medicina nuclear, a manipulação diária de material radioativo na forma líquida e não selada torna a exposição das mãos dos IOEs uma preocupação, visto que essa região é mais exposta. Por essa razão, os IOEs devem ser monitorados separadamente através de um monitor de extremidade (2, 5).

A CNEN requer que o valor de dose equivalente seja estimado no ponto de maior exposição (4). Diversos estudos indicam que a ponta dos dedos é o local de maior exposição para IOEs que manipulam material radioativo (6, 7, 8, 9). No Brasil, são disponibilizados comercialmente apenas dosímetros de pulso e de anel. Como as leituras de dose equivalente desses dosímetros subestimam a dose na ponta dos dedos, é sugerido pela literatura que sejam realizados estudos individuais, criando para cada IOE que manipula e administra radionuclídeos, um fator de correção personalizado que estime a dose recebida no ponto de maior exposição (6, 10). Tal consideração levanta questões do ponto de vista operacional, visto que o uso de fatores de correção poderia resultar em valores de dose equivalente acima dos limites estabelecidos pela CNEN (6, 11, 4).

Uma das tecnologias disponíveis em monitoração de radiação são dosímetros de

luminescência opticamente estimulada (do inglês OSL, *Optically Stimulated Luminescence*). Esses dosímetros possuem diversas vantagens, dentre elas sua alta sensibilidade e a possibilidade de releitura, o que permite o armazenamento dos dosímetros por maior período para análises posteriores (12).

O presente trabalho busca avaliar as doses equivalentes de extremidades e determinar fatores de correção que possam fornecer uma estimativa da dose equivalente no ponto de maior exposição das mãos dos IOEs que realizam o preparo e o manuseio de radionuclídeos no Serviço de Medicina Nuclear (SMN) do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA) utilizando dosímetros OSL.

2 Revisão de Literatura

2.1 Monitoração Individual e Efeitos Biológicos

Um dos aspectos mais importantes da proteção radiológica em ambientes que utilizam radiações ionizantes para fins médicos é a monitoração dos níveis de radiação, tanto do ambiente quanto do recebido individualmente pelos IOEs. O acompanhamento dos níveis de radiação envolve a medição periódica da quantidade de radiação existente no ambiente e a recebida pelos IOEs, para garantir que os níveis de exposição permaneçam dentro dos limites estabelecidos pelas normas de segurança da CNEN (11). Com os dados obtidos na monitoração, é possível identificar situações onde a exposição pode ser reduzida ou otimizada, garantindo assim a segurança dos IOEs (13, 14).

A radiação pode causar efeitos biológicos no tecido humano, dos quais há dois tipos: efeitos estocásticos e reações teciduais (também chamadas de efeitos determinísticos). Os efeitos estocásticos são aqueles em que não existe um limiar específico para sua ocorrência, sendo esta aleatória e probabilística. Quanto maior for a dose de radiação, maior a probabilidade de ocorrência do efeito. Um exemplo de efeito estocástico é o surgimento de tumores após anos de exposição à radiação. Já as reações teciduais ocorrem a partir de um determinado limiar de dose, implicando na ocorrência de um efeito toda vez que este limiar for atingido, como, por exemplo, vômito e náusea (1, 2).

Para diminuir a exposição desnecessária de indivíduos, são aplicadas medidas de proteção radiológica. Existem três tipos de exposição à radiação a indivíduos: exposição médica, ocupacional e do público. A exposição médica é aquela à qual o paciente ou acompanhantes se submetem devido à realização dos exames ou terapias com radiação ionizante. Esse tipo de exposição não está sujeita aos limites de dose estabelecidos pela CNEN, porém, deve ser devidamente justificada, seguindo o princípio de proteção radiológica da justificação. A exposição ocupacional se refere a toda exposição proveniente das atividades de trabalho de um indivíduo (IOEs). Por último, a exposição de indivíduos do público se refere a todos que não se classificam nos dois tipos anteriores. À exposição ocupacional e à exposição de indivíduos do público, aplicam-se os limites de dose estabelecidos pela CNEN, apresentados na Tabela 1. Toda vez que estes limites forem atingidos, devem ser identificadas as circunstâncias que levaram um indivíduo a alcançar tais valores (2, 15, 11, 4). Além dos limites de dose, há também os níveis de investigação para monitoração individual de IOE para cada grandeza. Esses níveis, ao serem atingidos, também exigem a identificação das práticas que contribuíram para tal valor de dose. Para dose efetiva, o nível de investigação é de 6 mSv em 1 ano ou 1 mSv em 1 mês. Já para

dose equivalente na pele, mãos e pés, o nível é de 150 mSv em 1 ano ou 20 mSv em 1 mês; enquanto que para a dose equivalente de cristalino, o nível é de 6 mSv em 1 ano ou 1 mSv em 1 mês (11).

Tabela 1 – Limites de dose anuais estabelecidos pela CNEN (11)

Grandeza	Órgão	Indivíduo Ocupacionalmente Exposto	Indivíduo do Público
Dose Efetiva	Corpo Inteiro	20 mSv	1 mSv
Dose Equivalente	Cristalino	20 mSv	15 mSv
	Pele	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	—

2.2 Grandezas Radiológicas e Dosimétricas

O conceito de dose é um dos mais importantes ao se tratar de radiação ionizante. A dose absorvida D se refere à energia média absorvida em um volume de massa m . A unidade de medida no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o gray [Gy], sendo que 1 gray equivale a 1 joule por quilograma [J/kg].

$$D = \frac{d\bar{E}_{ab}}{dm} \quad (2.1)$$

Para questões de radioproteção, foram desenvolvidas pela ICRP (do inglês, *International Commission on Radiological Protection*) grandezas que relacionam a dose ao tecido com o qual a radiação interage e o tipo de radiação, facilitando assim o controle de segurança radiológica dos IOEs (16, 13). A dose equivalente é considerada como a dose absorvida média no tecido ou órgão D_T devido a um tipo de radiação com energia definida, ponderada por w_R :

$$H_T = D_T \cdot w_R \quad (2.2)$$

A unidade no SI da dose equivalente é o sievert [Sv] e também equivale a 1 joule por quilograma [J/kg]. Essa grandeza é utilizada para obter as doses no cristalino, na pele e nas extremidades (mãos e pés) (11). Em diferentes ambientes, é possível que o campo de radiação ao qual um indivíduo esteja exposto não seja homogêneo. Por essa razão, foi necessário adotar uma nova grandeza que considerasse a irradiação em diferentes tecidos. A dose efetiva é a soma das doses equivalentes ponderadas para cada tecido e órgão w_T , sendo utilizada para avaliação de dose de corpo inteiro.

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T \quad (2.3)$$

No SI, a unidade de medida utilizada para a dose efetiva também é o sievert [Sv]. Convém destacar que os fatores de ponderação da radiação (w_R) e dos tecidos (w_T) são determinados com base em simulações computacionais e modelos físicos previamente estabelecidos. Esses fatores podem considerar variáveis circunstanciais, como a radiosensibilidade do tecido e a presença de oxigênio, entre outros aspectos relevantes (2, 17).

Apesar da dose equivalente e da dose efetiva serem utilizadas para a definição dos limites de dose, essas grandezas são apenas estimadas e não podem ser mensuradas diretamente (11). Em virtude disso, essas grandezas são denominadas grandezas limitantes. Para obter valores de dose que reflitam com maior precisão as condições reais de exposição, recorre-se ao uso das grandezas operacionais. Essas grandezas, fundamentadas em princípios de metrologia, levam em consideração as condições de medição dos detectores de radiação, a composição de seu material e as interações da radiação com tais materiais. Assim, partindo de uma referência que serve como padrão para definir uma grandeza, como o simulador esférico proposto pela ICRU (do inglês, *International Commission on Radiological Units and Measurements*), é possível aplicar fatores de conversão que permitem estimativas padronizadas das grandezas mensuráveis. No caso da monitoração individual, são utilizados fatores específicos que consideram a resposta do detector, a dose absorvida, o tipo de radiação incidente, além de estabelecer correlações com o risco de dano biológico (2).

A grandeza operacional utilizada na monitoração individual é o equivalente de dose individual $H_p(d)$, definido como o equivalente de dose em um tecido mole, a uma profundidade d (em milímetros), em um ponto específico logo abaixo de um meio com propriedades tecido equivalente (2). Sua medida é realizada diretamente na superfície do corpo, com um dosímetro calibrado para exposição conforme a região irradiada. A dose efetiva é medida com um dosímetro calibrado em $H_p(10)$, posicionado na altura do tórax. Quando há exposição a campos não homogêneos, envolvendo diferentes tipos de radiação, para medir a dose equivalente em diferentes tecidos, como as extremidades (pés e mãos), deve-se utilizar um dosímetro calibrado na grandeza operacional $H_p(0,07)$. A grandeza física utilizada para calcular os valores de dose equivalente em monitores individuais de radiação é o *kerma* (do inglês, *Kinetic Energy Released per unit MA*ss). O *kerma* é definido como a energia cinética dE_{tr} das partículas carregadas liberadas ou transferidas por partículas não carregadas ao incidir sobre um elemento de massa dm , sendo estas partículas não carregadas fótons e nêutrons. A unidade de medida no SI do *kerma* é o gray [Gy], e também equivale a 1 joule por quilograma [J/kg] (2).

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad (2.4)$$

Atualmente no Brasil, até a elaboração deste estudo, não há laboratórios certificados para prestar o serviço de monitoração individual externa na grandeza $H_p(0,07)$. Os laboratórios possuem apenas a certificação para a grandeza equivalente de dose individual $H_p(10)$, como mostra a relação de tais laboratórios no Anexo A, fornecida pelo IRD (Instituto de Radioproteção e Dosimetria) (18)

2.3 Dosimetria OSL

Uma das principais tecnologias utilizadas para monitoração individual é a de dosímetros OSL. O princípio de funcionamento de um material OSL pode ser visto na Figura 1. Um material OSL recebe um estímulo externo onde há transferência de energia; neste caso, a incidência de radiação ionizante inicia este processo. A energia depositada resulta em excitações e ionizações, onde os elétrons livres passam para a banda de condução. Ao se moverem para a banda de condução, esses elétrons criam armadilhas de buraco, que também podem se mover livremente, pela banda de valência. Esses elétrons e buracos livres podem acabar presos nos defeitos da rede cristalina, em níveis de energia específicos de cada material. Após a exposição à radiação, o material entra em um período de latência, caracterizado por uma concentração de elétrons e buracos presos nos defeitos da rede. Esta concentração é proporcional à dose de radiação absorvida e carrega informações sobre o campo de radiação (12).

As informações contidas no detector OSL podem ser obtidas por meio de um estímulo luminoso. Quando um fóton atinge um elétron, ele se move pela banda de condução, podendo chegar até uma armadilha de buraco. Esse processo de recombinação entre um elétron e um buraco cria um defeito no estado excitado, que faz com que o material retorne para o estado fundamental através da emissão de um fóton de comprimento de onda diferente do estímulo. Ao receber o estímulo luminoso, a leitora quantificará o número de contagens ou cargas por unidade de massa. Mediante algoritmos específicos, a leitura será corrigida para o sinal de fundo do processo de leitura, o fator de depleção do material e o fator de correção individual para sensibilidade. Assim, a informação sobre a dose absorvida depende da intensidade do sinal detectado pelo processo de leitura (12, 19).

A calibração de um instrumento de medição de radiação é essencial para garantir que a grandeza que se mede é rastreável a um padrão (inter)nacional. No caso de dosímetros pessoais, a calibração deve assegurar a estimativa correta da grandeza operacional, seguindo os padrões de referência para o instrumento de medida. O processo de calibração de um dosímetro consiste em várias etapas. Primeiro, deve-se determinar a grandeza básica a ser medida no ar livre, em um ponto teste de um campo de radiação de referência. Para dosímetros pessoais, essa grandeza é o *kerma* no ar. Em seguida, deve-se calcular a grandeza operacional, considerando a qualidade da radiação no campo de referência. No

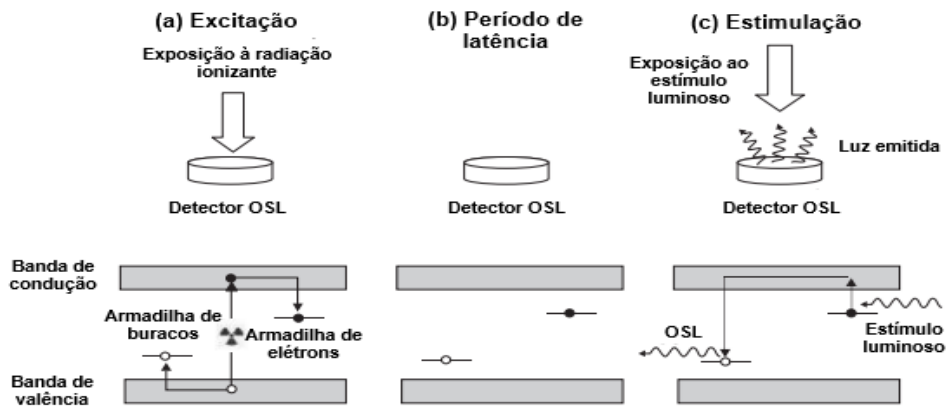


Figura 1 – Processo de luminescência de um material OSL. Adaptado de Yukihiro. (12)

caso de fontes radioativas, a qualidade da radiação é caracterizada pela energia da fonte, sua resolução espectral, filtração dos fótons e propriedades geométricas. Após a aplicação dos coeficientes de conversão, por fim, é necessário irradiar o dosímetro no ponto de teste de um simulador e comparar com a irradiação nas condições de referência, para se obter um coeficiente de calibração adequado (12, 19). Existem diferentes fantomas utilizados para a calibração de dosímetros de monitoração pessoal, que simulam as condições onde o dosímetro será posicionado na aplicação prática. Cada fantoma possui um uso específico e dedicado para cada tipo de dosímetro. A Tabela 2 mostra os fantomas definidos pela ISO (do inglês, *International Organization for Standardization*).

Tabela 2 – Fantomas usados na calibração de dosímetros pessoais (20, 12)

Fantoma	Uso	Tipo
Haste (ISO_{rod})	Dedos, em $H_p(0,07)$	Cilindro de PMMA
Pilar (ISO_{pillar})	Pulsos e tornozelos, em $H_p(0,07)$	Cilindro preenchido com água e paredes de PMMA
Cilíndrico (ISO_{cyl})	Cristalino, em $H_p(3)$	Cilindro preenchido com água e paredes de PMMA
Fantoma de água paralelepípedo (ISO_{slab})	Corpo inteiro, em $H_p(10)$	Cilindro preenchido com água e paredes de PMMA
Fantoma sólido paralelepípedo (ISO_{slab})	Mesmo que o fantoma de água, para energias médias iguais ou maiores que as do ^{137}Cs	Paralelepípedo sólido de PMMA

Para se calcular a dose acumulada em um dosímetro, diversos fatores são considerados para obter um valor que seja próximo do real. Geralmente, temos que:

$$D_w = M_{cor} \cdot N_{D,w} \cdot k_F \cdot k_L \cdot k_Q \cdot k_\theta \quad (2.5)$$

onde M_{cor} é a leitura corrigida do dosímetro, $N_{D,w}$ é o coeficiente de calibração, k_F é a correção de decaimento (*fading*) do sinal, k_L é o fator de correção de linearidade, k_Q é o fator de correção da qualidade do feixe e k_θ é o fator de correção angular (19).

Existem alguns tipos de materiais OSL que podem ser utilizados para medições com radiação ionizante. Entre os tipos utilizados estão os dosímetros InLight™ e os dosímetros NanoDot™. Os dosímetros InLight™ são monitores de radiação construídos especificamente para monitoração pessoal. Consiste em um estojo contendo filtros de plástico e metal e uma lâmina de plástico com os elementos sensíveis, feitos de material OSL. O modelo padrão de dosímetros InLight™ possui uma combinação de filtros: janela aberta, plástico, alumínio e cobre. Esses filtros são componentes essenciais, pois, durante o processo de leitura, permitem realizar discriminação energética para avaliar a intensidade da resposta, além de modular a dependência angular do dosímetro, permitindo uma medida mais consistente, diminuindo a dependência direcional. A Figura 2 mostra os componentes de um dosímetro InLight™. Já os dosímetros NanoDots™ possuem apenas um único elemento sensível, sem filtros, construídos especificamente para medidas pontuais. No processo de leitura de um dosímetro NanoDot™ se assume uma resposta pré-calibrada para o tipo de radiação específico com o qual será exposto. Do ponto de vista metrológico, isso permite leituras mais precisas dentro da faixa de energia de calibração, mas limita as medidas realizadas em campos mistos de radiação (mais de um tipo) (21, 19, 12)

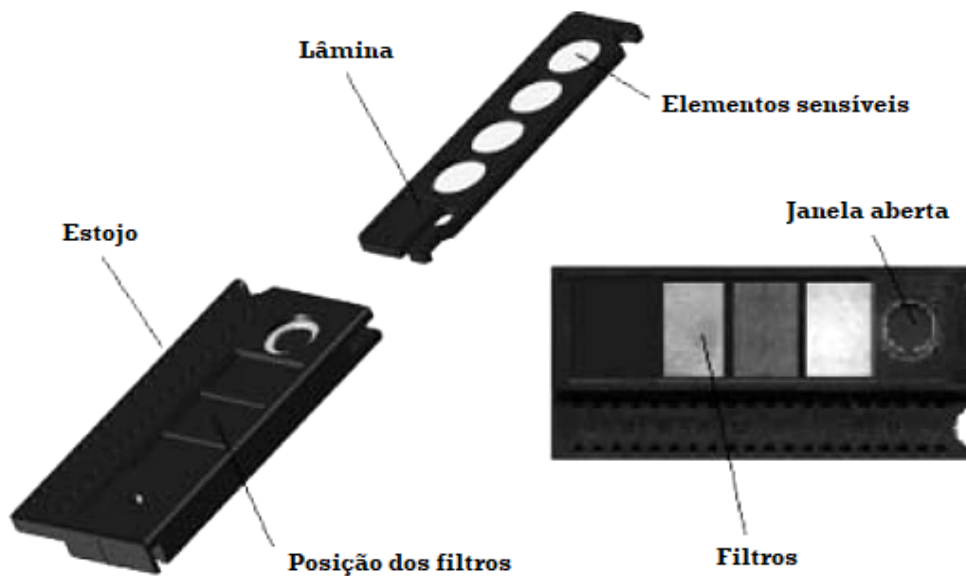


Figura 2 – Componentes de um dosímetro InLight™. Adaptado de Perks (21).

2.4 Dosimetria de extremidades

Paralelamente ao crescimento da medicina nuclear no mundo, a comunidade científica tem direcionado maior atenção para a exposição ocupacional, com destaque para a dose equivalente de extremidades. A revisão da literatura evidencia a importância de investigações específicas que analisem os diversos fatores que influenciam e contribuem para o acúmulo de dose equivalente nas mãos, para obedecer aos requisitos normativos.

A norma CNEN NE 3.02 (22) exige que sejam utilizados tantos dosímetros quanto necessários para que possa haver uma avaliação completa da dose efetiva e dose equivalente recebida pelos IOEs. Já a norma CNEN 3.05 (4) especifica que, em instalações de medicina nuclear e para indivíduos que manipulem ou administrem radiofármacos, é obrigatório o uso de monitores individuais de extremidade. O preparo e o manuseio de radionuclídeos são as atribuições que mais contribuem para o acúmulo de dose equivalente nas mãos. Além disso, eventuais possíveis contaminações radioativas constituem outra fonte significativa de exposição, podendo resultar em leituras de dose maiores do que o previsto, mesmo com a adoção de medidas de proteção radiológica (8). Segundo a legislação brasileira, uma das exigências relativas à monitoração individual de IOEs é a estimativa e o registro do valor de dose equivalente obtido na extremidade, no ponto de maior exposição, a partir da leitura do monitor de extremidade (4). O valor da dose, então, deve ser comparado aos limites anuais estabelecidos pela CNEN.

Um dos principais fatores que afetam significativamente as estimativas de dose é o posicionamento dos dosímetros de extremidade. Existem diferentes modelos de dosímetros que podem ser posicionados nas mãos dos IOEs, como no pulso, na base dos dedos (como um anel), e ainda na ponta dos dedos. No mercado brasileiro, estão disponíveis: dosímetros de pulso e de anel. Não há dosímetros de dedo comercialmente disponíveis no Brasil. Atualmente, o HCPA utiliza o dosímetro de pulso como monitor de extremidade. No entanto, dosímetros de pulso e de anel subestimam o valor de dose no ponto de maior exposição - no caso, a ponta dos dedos.

Em 2011, foram publicados os resultados do estudo realizado pelo projeto ORAMED. Nele, foram coletados dados durante 3 anos de diversos IOEs e SMNs, em 6 diferentes países europeus. Foram estudadas as doses equivalentes recebidas por esses IOEs, além de avaliar outros fatores que também podem influenciar as leituras como a mão onde se posiciona o dosímetro (mão dominante ou não dominante), o dedo no qual se posiciona o dosímetro, a posição e a orientação do dosímetro. Foi encontrado que a dose pode ser subestimada por um fator de 6 vezes para um dosímetro de anel na mão não-dominante do dedo indicador, em relação à ponta dos dedos. E para dosímetros de pulso, a dose pode ser subestimada por um fator de aproximadamente 20 (6, 23, 24)

Além disso, não há uma padronização na comunidade científica, nem em órgãos

regulatórios, a respeito do uso dos dosímetros de extremidade. O estudo transversal realizado por KYRIAKIDOU *et al.* (2021) evidenciou a necessidade de uma padronização nas recomendações dadas pelos países europeus aos SMNs. A Figura 3 mostra um número maior de países europeus sem orientações específicas quanto à posição, o dedo e a orientação dos dosímetros de extremidade (5).

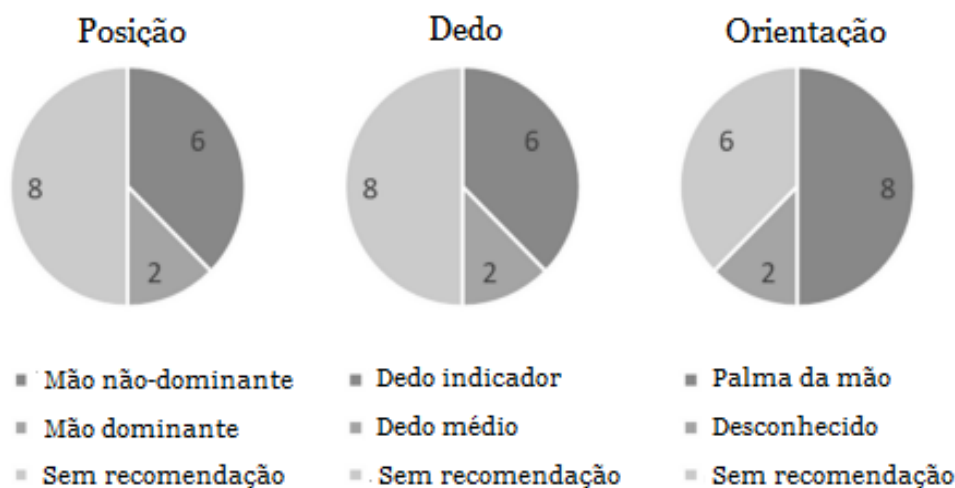


Figura 3 – Número de países com recomendações de posicionamento dos dosímetros. Adaptado de Kyriakidou (5)

A aplicação destes fatores está relacionada a aspectos individuais de cada SMN. Estudos indicam um conjunto de fatores de correção para determinadas posições dos monitores de extremidade; no entanto, além desses valores nem sempre serem concordantes entre si, há parâmetros que afetam sua determinação. Por exemplo, COVENS *et al.* (2007) indica a possibilidade de uma subestimação no valor da dose equivalente caso se utilize um fator de correção considerando apenas um radionuclídeo usado na prática clínica (25).

A grande variação nos fatores de correção relatados na literatura pode estar relacionada aos métodos aplicados. No estudo conduzido por VIEIRA (2018) (9), os dados experimentais foram comparados e validados através do uso de um simulador articulado de mão, no qual foi encontrado um fator de correção de 2 para dosímetros de anel e 12 para dosímetros de pulso. JANKOWSKI *et al.* (2003) avaliou a distribuição de dose nas mãos de IOEs e encontrou que a dose na ponta do dedo palmar em comparação a ponta do dedo dorsal (lado da unha) pode ser subestimada por um fator de 9 (26). DONADILLE *et al.* (2008) e SANS-MERCE *et al.* (2011) indicam que o treinamento de IOEs e o uso de sistemas automatizados de dispensação de radiofármacos são as principais maneiras de redução da exposição as mãos dos IOEs, o que impacta na estimativa da dose de extremidade (27, 7).

Embora existam exemplos e diretrizes sobre a utilização dos fatores de correção

associados à posição dos dosímetros, esses parâmetros podem não ser correspondentes com a realidade brasileira. Uma vez que os valores de dose equivalente obtidos representem adequadamente a dose recebida pelos IOEs durante a execução de suas atividades, uma das principais recomendações no âmbito das medidas de proteção radiológica é a realização de estudos individuais, com cada IOE, por um curto período, visando determinar o posicionamento ideal do dosímetro e o fator de correção mais apropriado (6, 28).

3 Objetivos

3.1 Geral

O objetivo principal deste estudo é avaliar as doses equivalentes de extremidade nos IOEs que manipulam material radioativo a partir dos dosímetros de extremidade.

3.2 Específicos

- Investigar a influência da posição dos dosímetros de extremidade na estimativa da dose equivalente.
- Avaliar e comparar os valores de dose equivalente dos pontos de maior exposição com os dosímetros de pulso, estabelecendo uma relação entre os valores (fatores de correção).

4 Resultados

O produto do Trabalho de Conclusão da Residência (TCR) em Área Profissional da Saúde (Física Médica, ênfase em Medicina Nuclear), CAEE nº 81290524.5.0000.5327, aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa do HCPA pelo parecer nº 6.964.496 (Anexo B), será submetido no futuro em forma de artigo à revista da Sociedade Brasileira de Proteção Radiológica (SBPR) – Brazilian Journal of Radiation Sciences (ISSN: 2319-0612) (SBPR, 2019). O artigo-exemplo da revista encontra-se no ANEXO C. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) aplicado aos participantes do estudo está no Apêndice A. Uma cópia do artigo a ser submetido se encontra a seguir.

BRAZILIAN
JOURNAL OF RADIATION
SCIENCES

doi.org/10.15392/2319-0612.202x.2222
202x, V(I) | 01-10 | e2222
Submitted: 202x-mm-aa
Accepted: 202x-mm-dd



Assessment of extremity equivalent dose in occupationally exposed workers in a nuclear medicine department: challenges and limitations

Ropke^a, J; Salazar^a, J. B; Oliveira^{a*} F. R.

^aHospital de Clínicas de Porto Alegre, 90410-000, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

*Correspondence: frdoliveira@hcpa.edu.br

Abstract: Nuclear medicine workers are susceptible to high extremity equivalent doses, especially those who directly prepare radiopharmaceuticals for administration. The national regulatory body in radiation protection requires the estimation of equivalent dose in the position of greater exposure. To provide this information and comply with the regulations, experimental measurements were made to study the influence of the dosimeter's positions. Two measurements were made in a 2-month period, with NanoDots™ dosimeters placed above the nails of the index and middle fingers, with 2 workers. The equivalent dose measured was compared to the wrist dosimeter used in clinical practice, considering other parameters that influence the skin dose to the hands. Results show that the range of normalized equivalent dose per activity unit for ^{99m}Tc preparation in the non-dominant hand is 0,015 – 0,229 mSv/GBq. Also, the fingertips are susceptible to high levels of radiation dose, with one of the evaluated workers having an underestimation of the equivalent dose by a factor of 30, higher than the indicated in the literature, while underestimation for the other worker is approximately 8, both in the non-dominant hand. The difference between the workers' correction factors indicates a high variability in the extremity equivalent dose values due to the different parameters that affect its estimation. Radiation protection measures are an important aspect to reduce dose levels in the hands, as well as good working practices. The parameters that influence the equivalent dose estimate are limitations in this type of assessment, whose individual impact on dose distribution must be analyzed in similar studies.

Keywords: equivalent dose, nuclear medicine, radiation protection



BRAZILIAN
JOURNAL OF RADIATION
SCIENCES

doi.org/10.15392/2319-0612.202x.2222
202x, V(I) | 01-10 | e2222
Submitted: 202x-mm-aa
Accepted: 202x-mm-dd



Avaliação da dose equivalente em extremidades de trabalhadores ocupacionalmente expostos em um serviço de medicina nuclear: desafios e perspectivas

Resumo: Indivíduos ocupacionalmente expostos em medicina nuclear são suscetíveis a altas doses equivalentes nas extremidades, especialmente os que preparam diretamente radiofármacos para administração. O órgão regulador nacional em proteção radiológica exige que se estime a dose equivalente no local de maior exposição. Para fornecer essas informações e cumprir com os requisitos regulamentares, foram realizadas medidas experimentais para estudar a influência das posições dos dosímetros. Foram feitas duas medições em um período de 2 meses, com dosímetros NanoDots™ colocados acima das unhas dos dedos indicador e médio das mãos de 2 trabalhadores. A dose equivalente medida foi comparada com a dose do dosímetro de pulso utilizado na prática clínica, considerando outros parâmetros que influenciam a dose na pele das mãos. Os resultados mostram que o intervalo de dose equivalente normalizada por unidade de atividade para a preparação de ^{99m}Tc na mão não-dominante é de 0,015 – 0,229 mSv/GBq. Além disso, os resultados também mostram que as pontas dos dedos são suscetíveis a altos níveis de dose de radiação, com a dose equivalente de um dos trabalhadores avaliados sendo subestimada por um fator de 30, superior ao indicado na literatura, enquanto a subestimação para o outro trabalhador foi de aproximadamente 8, ambos na mão não-dominante. A diferença entre os fatores de correção dos trabalhadores, indica uma alta variabilidade nos valores de dose equivalente de extremidade devido aos diversos parâmetros que afetam sua estimativa. As medidas de proteção radiológica são um aspecto importante para reduzir os níveis de dose nas mãos, bem como as boas práticas de trabalho. Os parâmetros que influenciam a estimativa da dose equivalente são limitações nesse tipo de avaliação, cujo impacto individual na distribuição da dose deve ser analisado em estudos semelhantes.

Palavras-chave: dose equivalente, medicina nuclear, proteção radiológica





1. INTRODUCTION

In nuclear medicine departments (NMD), manipulation of unsealed radioactive sources is the main cause of dose accumulation. The Brazilian regulatory body in radiation protection, the National Nuclear Energy Commission (Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN in Portuguese), establishes the annual dose limits for members of the public and exposed workers [1]. The NMD complies with the requisites detailed in the normative by adopting specific measures, like the Individual Monitoring Plan, which should include a detailed evaluation about the radiation dose levels of exposed workers [2].

One requirement in particular pose a challenge to the NMD. It is established that the number of dosimeters used in planned exposure situations should be enough to evaluate different areas of the body, especially when the worker is exposed to non-homogeneous radiation fields [3, 4]. That is the case in NMD, since preparation and administration of radiopharmaceuticals are chores that require the use of an extremity dosimeter. Furthermore, it is necessary to estimate the equivalent dose in the location of the greater exposure, based on the reading of the extremity dosimeter and compare it to the annual dose limit [2].

Many studies have shown that the location of greater exposure in NMD is the fingertip [5, 6, 7, 8, 9]. This implies a technical difficulty in the task of estimating the equivalent dose, since there are no finger dosimeters commercially available in Brazil, at the time of this study. Currently, the Brazilian dosimetry labs do not possess the certification to provide individual monitoring services in the operational quantity personal dose equivalent $H_p(0.07)$, for the assessment of skin dose to the hands, although it is a regulatory requirement [10].

The commercially available tools to assess equivalent dose in extremities in Brazil are ring and wrist dosimeters. However, many issues affect the dose accumulation process. The main issue is the position of the dosimeter. Since it is not positioned in the fingertip, there is



an underestimation of the equivalent dose. Other issues that affect this process are (a) the dominant hand of the worker [5, 11]; (b) the finger in which the dosimeter is placed [5, 6, 8, 9, 12]; (c) the orientation of the dosimeter [5, 8, 13]; as well as the personal experience of the worker, use of shielding during preparation of radiopharmaceuticals and many others [5, 8, 14, 15]. Because of these issues, for example, one study conducted with 96 workers and 641 measurements found that the equivalent dose in the hands of the exposed worker can be underestimated by a factor of 6, in comparison to ring dosimeters and by a factor of 20, when comparing to wrist dosimeters [5].

Because the variability of the dose distribution is strongly operator- and technique-dependent, the main recommendation for these types of studies is to undertake individual measurements in a trial period to identify the best monitoring position for each worker and to estimate the correction factor to apply to the reading of the dosimeters [5, 16].

This study is a product of the Residency Completion Work (*Trabalho de Conclusão de Residência – TCR, in Portuguese*) in the Health Professional Area (Medical Physics with emphasis on Nuclear Medicine) and aims to determine the correction factors that can provide an appropriate estimate of the dose at the point of greater exposure for the exposed workers, i.e. the fingertips, in a NMD of a reference hospital [4].

2. MATERIALS AND METHODS

To evaluate and assess the extremity equivalent dose for the NMD, the inclusion criteria for the study were exposed workers that directly prepare and manipulate radiopharmaceuticals, since they are the most likely to receive the highest radiation dose per month. The exclusion criteria were exposed workers that administer radiopharmaceuticals, since their exposure levels are significantly lower. After an interview, participants were



required to sign the Informed Consent Form (*Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE, in Portuguese*). This study was conducted with 2 participants in total.

The dosimeters were provided and read by the Sapra LANDAUER dosimetry lab. The dosimeters were positioned in 3 locations on each hand for the measure of $H_p(0.07)$, with 2 attached in the fingertips of the index and middle fingers, above the nails, and one wrist dosimeter, faced toward the palm, as indicated in Fig. 1. Optically stimulated luminescence dosimeters were used (OSLDs), fixed in glove fingers. The OSL material is carbon-doped aluminum oxide ($Al_2O_3:C$). The dosimeters attached to the fingertips were the NanoDot™ type, with 10 mm x 10 mm x 2 mm dimensions (Fig. 2). The wrist dosimeters used were the InLight™ model type. The dosimeters fulfill the technical requirements and were calibrated according to the ISO 4037-3 standard, with a ISO pillar phantom [17]. The $H_p(0.07)$ for fingers was calculated using the conversion coefficient $h_{pK}(0.07) = 1,14$ Sv/Gy, for radiation quality S-Cs, given in the ISO 4037-3, since it is the energy range found in nuclear medicine practices [17, 18]. The dosimeters were visually identified and separated according to the participant.

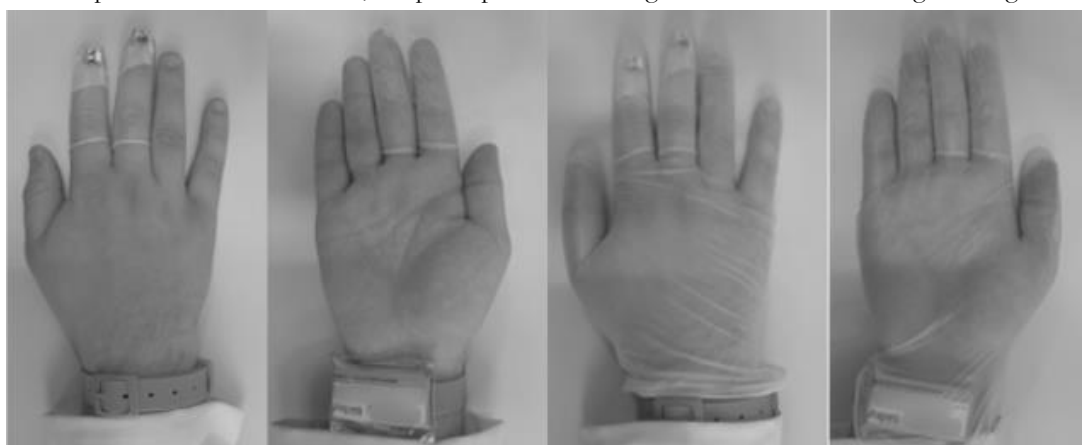
The participants were required to use at least one pair of gloves above the glove fingers attached, to hold them in place and avoid radioactive contamination. The glove fingers were weekly discarded, and new ones were provided. With the objective of correlating the exposure time with the regulatory requirement, the participants wore the same set of dosimeters for an entire month. Two measurements were made: one only using ^{99m}Tc -labelled radiopharmaceuticals and one made with all the radionuclides available in the NMD (^{99m}Tc , ^{18}F , ^{67}Ga and ^{131}I).

For each measurement, the total manipulated activity and $H_p(0.07)$ values at each position were collected. Table 1 presents the codes for all the dosimeter positions. Additional information was also considered, like the use of radiation protection devices (vial shields)



and preparation time. The glove fingers were checked for contamination after use. All the information was stored in an institutional database, accessible only by the researchers.

Figure 1: Locations of the dosimeters on the exposed worker hands. The NanoDot™ dosimeters were positioned above the nail of the index and middle finger with a glove finger and the InLight™ dosimeter was placed on the wrist. Then, the participants used one glove above the attached glove fingers.



Source: The authors (2024)

The wrist dosimeter was chosen as the control dosimeter because it's the position used in the clinical practice on the NMD of the study. Also, since the tips of the index and middle fingers were predominantly mentioned in the literature as being the most exposed locations, they were chosen for the position of the measurements of this study.

The $H_p(0.07)$ measured was normalized to the total manipulated activity. In the first measurement, the total activity considered was the total activity from the elution vial of ^{99m}Tc , plus the manipulated activity in the preparation of kits. In the first measurement, only the results obtained in the non-dominant hand were used, since the wrist dosimeter used in daily practice was exposed to all radionuclides for the monthly dose record period, since a third dosimeter (positioned in the dominant hand) would cause an underestimation for the dosimeter of the study. In the second measurement, in addition to the ^{99m}Tc activity, the total activity withdrawn from the multi-dose vial of ^{18}F , ^{67}Ga and ^{131}I was considered.



Figure 2: Example of NanoDot™ dosimeter used for this study



Source: The authors (2024)

As indicated in the literature, many parameters influence the dose analysis. The experience of the worker, even though it plays an important role in dose reduction, is difficult to quantify. This involves the time to prepare the radioactive material, which can vary greatly, depending on the preparation and might not be the same for all workers, even if both have the same amount of practical experience in the field. Even though it is a good radiation protection practice, the use of vials and syringe shields cannot be guaranteed in every preparation procedure [5, 7, 8]. This study only refers to the specific practices adopted in the NMD of the specific reference hospital.

Table 1: Position codes for the location of the dosimeters on the hands

Position	Code
Dominant Index Finger	DI
Dominant Middle Finger	DM
Dominant Wrist	DW
Non-dominant Index Finger	NDI
Non-dominant Middle Finger	NDM
Non-dominant Wrist	NDW

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Table 2 shows the normalized equivalent dose per total activity manipulated, $H_p(0.07)/A$, for every location with a dosimeter in the non-dominant hand, for the ^{99m}Tc - only measurement. Since the normalized equivalent dose for the measurement with all the



radionuclides does not have physical meaning because of their different energy contributions, it was not calculated. Both workers have the same dominant hand. Table 3 shows the $H_p(0.07)$ measured for all the radionuclides in the NMD. According to the results, workers involved in the preparation of radiopharmaceuticals are susceptible to high equivalent doses in the hands, likely to exceed the annual limit of 500 mSv established by CNEN and other international recommendations [1, 3]. Worker n° 2 received less dose because it was significantly exposed less times during the month period in comparison to worker n° 1 (approximately 10 days without radiation exposure). The amount of activity manipulated is largely dependent on the NMD exam schedule, which were not controlled by the exposed workers or the researchers of this study.

The normalized $H_p(0.07)$, as shown in Table 2, are in the range of values reported by other authors [5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 15]. One of the main issues concerning the normalized equivalent dose is the parameter choice for its calculation. Some studies consider the total activity eluted, while others consider the eluted activity plus the manipulated activity for the preparation of the kits [11, 12].

Another influence factor for the measurements is the type of radiation. In the second measure, for example, although the amount of activity used during the study was always registered, it's not possible to differentiate with these measurements how much of the $H_p(0.07)$ results from the radiation type A or B. The total equivalent dose is expected to be higher if the amount of different radiation types is similar. However, there are very few studies analyzing the total equivalent dose in NMDs considering more than 2 radionuclides with different radiation types (for example, gamma and beta emitters). To estimate the different contributions in these cases, it is necessary to use computational tools, like simulations using the Monte Carlo method, so that $H_p(0.07)$ can be properly assessed. Monte Carlo simulations are also an important tool to analyze the dose distribution in the hands of exposed workers [11, 16].



Table 2: Location of the dosimeter on the non-dominant hand, total manipulated activity, $H_p(0.07)$ with the associated uncertainty σ_{dos} and normalized equivalent dose for the ^{99m}Tc –only measurement, per worker and its uncertainty σ_{prop}

Worker	Location of the dosimeter	Total Manipulated Activity (GBq)	$H_p(0.07) \pm \sigma_{dos}$ (mSv)	Normalized $H_p(0.07) \pm \sigma_{prop}$ (mSv/GBq)
1	NDI	291,34	66.92 ± 3.68	$0.229 \pm 0,012$
	NDM		49.32 ± 2.71	$0.169 \pm 0,009$
	NDW		4.39 ± 0.24	$0.015 \pm 0,0008$
2	NDI	280,74	53.32 ± 2.93	$0.189 \pm 0,010$
	NDM		55.76 ± 3.06	$0.198 \pm 0,010$
	NDW		6.79 ± 0.37	$0.024 \pm 0,001$

The literature points out that lower extremity doses are related to good practices in the preparation and administration of radiopharmaceuticals. These practices are associated with working habits, usually referring to the use of vial and syringe shields, for increased protection [5, 8]. However, the use of shielding when dealing with unsealed sources is standard practice, as it is in the NMD of the study's hospital. Also, both participant workers are considered experienced, according to the literature parameter (beginner: 1 year, experienced: >1 year) [5].

Table 3: Location of the dosimeter and $H_p(0.07) \pm \sigma_{dos}$ for the measurement with all radionuclides, per worker.

Worker	Location of the dosimeter	$H_p(0.07) \pm \sigma_{dos}$ (mSv)
1	DI	95.27 ± 5.23
	DM	75.55 ± 4.15
	DW	5.90 ± 0.32
	NDI	111.88 ± 6.15
	NDM	68.48 ± 3.76
	NDW	2.85 ± 0.15
2	DI	41.04 ± 2.25
	DM	28.67 ± 1.57



DW	4.0 ± 0.22
NDI	30.54 ± 1.67
NDM	38.69 ± 2.15
NDW	5.47 ± 0.30

Another aspect is the specific techniques used by the workers to prepare the unsealed sources. Because of potential differences, the time spent with each manipulation can vary and, therefore, increase or decrease exposure. In this study's case, the workers had distinct approaches to the preparation of radiopharmaceuticals, which can explain the difference in dose levels.

There is no consensus in the literature related to which hand receives the higher doses. There are studies which report the non-dominant hand as the hand that receives higher doses, with the tip of the index finger being the point of greater exposure. At the same time, there are studies and regulatory body recommendations regarding the dominant hand as receiving higher doses, as well as the tip of the middle finger or the thumb as being points of greater exposure. This aspect is also related to working habits and specific practices of each worker. In addition, because preparation methods are related to the radiation type, for example, the use of elution vials and dose drawing systems, its expected that the most exposed hand will not be the same for both cases [5, 7, 8, 19]. In this study, it's not possible to properly assess the position effect of the dosimeters in the dominant and non-dominant hands.

Table 4 shows the ratio between the maximum $H_p(0.07)$ value found in the fingertips, in the first and second measurements, and the wrist dosimeter of the correspondent hand. The results show that there is an underestimation of $H_p(0.07)$ for the wrist dosimeters in the order of 30, for worker n° 1, and approximately 8, for worker n° 2, in relation to the point of greater exposure. The value for worker n° 1 is higher when compared to the largest study made in this topic, which found that the mean ratios are significantly higher for wrist



dosimeter, in the order of 20. Because of that, the use of wrist dosimeters is not recommended in clinical practices for NMD. The commercially alternative available in Brazil are ring dosimeters, which also underestimate hand doses, although by a less expressive factor [5].

Another influence factor is the position of the measurements. $H_p(0.07)$ can also be underestimated by measuring it above the nails, which is the case for this study. There are studies which report that the dose can be underestimated by a factor of 9 when compared to the dose at the fingertips [6, 13]. A wearing test was conducted prior to the measurements and showed that the use of the NanoDots™ in the fingertips greatly affected the workers hand sensation and would negatively impact the preparation and handling of unsealed sources, increasing the risk of higher exposure. Therefore, the dosimeters were placed above the nails for the measurements.

Table 4: Ratio between the maximum $H_p(0.07)$ in the hands and the $H_p(0.07)$ measured in the wrists, per measurement and worker

Worker	Hand	Measurement	Maximum $H_p(0.07)$ /Wrist $H_p(0.07) \pm \sigma_{prop}$
1	ND	1	15.24 ± 1.18
	D	2	17.81 ± 1.38
	ND	2	30.91 ± 2.40
2	ND	1	8.21 ± 0.63
	D	2	7.67 ± 0.59
	ND	2	6.31 ± 0.49

The main recommendation found in the literature for the estimation of $H_p(0.07)$ in the most exposed location of the hands is to use a ring dosimeter at the base of the middle finger in the non-dominant hand, with the dosimeter faced toward the palm and to use a factor of 6 [5, 19].



Evaluation of hand skin doses is one of the most challenging tasks in NMD. One of the aspects not explored in the literature are the limitations in terms of study participation and the impact of the dosimeter's use in daily practice. There are no tools to properly verify the impact of the dosimeters on the workers' hands. This means that the $H_p(0.07)$ measured could potentially vary to higher or lower doses. Also, size and shape of the NanoDots™ poses a mechanical limitation in the study, and can impact the daily practice, potentially increasing the time spent on the tasks. The alternative for these types of studies is the use of thermoluminescent dosimeters (TLD), since its shape and size are smaller in comparison to the NanoDots™.

4. CONCLUSIONS

The results of this local study showed that many parameters influence the equivalent doses received by the workers. Radiation protection measures are the most efficient way to reduce exposure to the NMD workers, as well as good work practices, like the constant use of shielding. The correction factors estimated by the authors for the workers n° 1 and 2° are 30 and 8, respectively. The correction factor for worker n° 1 is higher than the correction factor commonly found in the literature, following similar recommendations for the experimental measurements [5]. Because of the significant differences found between the measurements of both workers in this study, a new evaluation with different methods is recommended for the results to be more conclusive.

One of the possibilities to reduce skin dose in the hands is the standardization of some practices, which could lead to exposures that are more similar for all workers. There is no specific method to properly assess if the use of the dosimeters at the fingertips in daily practice increased equivalent dose in the hands of the workers, as well as the collective impact of the many influence parameters in the measure of $H_p(0.07)$. If available, the use of ring



dosimeters should be considered to obtain a more accurate measurement of $H_p(0.07)$, since its closer to the point of greater exposure while handling unsealed sources.

A specific study observing the time spent on preparation of radiopharmaceuticals should give more parameters to assess. Also, considering the number of possible influence factors, this type of study should be conducted over a longer period of time, increasing the number of evaluated workers and number of measurements. The use of thermoluminescent dosimeters (TLD) should also be considered, because of the mechanical limitations imposed by the use of NanoDots™.

As a suggestion, hand exposure and dose distribution can be evaluated using computational tools, through Monte Carlo simulations, which can be useful for comparison with the experimental data. More importantly, it can be used to assess the dose contribution of each radionuclide manipulated in the NMD. Also, a comparison between equivalent dose at the fingertips, base of the fingers and wrists, can provide additional estimates and information about dose distribution during diverse practices in the clinical setting and.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by Sapra LANDAUER which provided the dosimeters used in the research, although they may not agree with all the interpretations and conclusions of this paper.

We thank Yvone M. Mascarenhas, PhD, for the assistance with the use of the dosimeters and for comments that greatly improved the manuscript.



CONFLICT OF INTEREST

All authors declare that they have no conflicts of interest.

REFERENCES

- [1] CNEN. NN 3.01. Requisitos Básicos de Radioproteção e Segurança Radiológica de Fontes de Radiação, Rio de Janeiro, RJ, 18 abr 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/normas/grupo-3/NormaCNENNN3.01.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2024.
- [2] CNEN. NN 3.05. Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear, Rio de Janeiro, RJ, Dez 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/normas/grupo-6/grupo6-nrm305.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2024.
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Occupational Radiation Protection, IAEA Safety Standards Series N°. GSG-7, IAEA. Vienna, 2018.
- [4] CNEN. NE 3.02. Serviços de Radioproteção, Rio de Janeiro, RJ, 17 set 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/acesso-rapido/normas/grupo-3/grupo3-nrm302.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2024.
- [5] CARNICER, A. et al. Hand exposure in diagnostic nuclear medicine with ^{18}F - and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -labelled radiopharmaceuticals – Results of the ORAMED project. **Radiation Measurements**, v. 46, n. 11, p. 1277-1282, 2011.
- [6] VANHAVERE, F. et al. An overview on extremity dosimetry in medical applications. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 129, n. 1-3, p. 350–355, 2008.
- [7] KYRIAKIDOU, A.; SCHLIEF, J.; GINJAUME, M.; KOLLAARD, R. Need for harmonisation of extremity dose monitoring in nuclear medicine: results of a survey amongst national dose registries in Europe. **Journal of Radiological Protection**, IOP Publishing, v. 41, n. 4, p. 726, 2021.
- [8] KOLLAARD, R. et al. Review of extremity dosimetry in nuclear medicine. **Journal of Radiological Protection**, IOP Publishing, v. 41, n. 4, p. R60, 2021.
- [9] HUDZIETZOVÁ, J., FÜLÖP, M., SABOL, J., DOLEZAL, J. Assessment of the local exposure of skin on hands of nuclear medicine workers handling ^{18}F -labelled



- radiopharmaceuticals: Preliminary Czech study. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 171, n. 4, p. 445-452, 2016.
- [10] INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA. IRD/CNEN, Comitê de Avaliação de Serviços e Ensaio de Calibração. Disponível em: https://antigo.ird.gov.br/documentos/CASEC/CASEC_LABORATORIOS_DE_DO SIMETRIA_CERTIFICADOS_OUTUBRO_2023_FINAL.pdf. Acesso em: 07 dez. 2024.
- [11] COVENS, P. et al. Personal dose monitoring in hospitals: global assessment, critical applications and future needs. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 124, n. 3, p. 250-258, 2007.
- [12] TANDON, P., VENKATESH, M., BHATT, B.C. Extremity dosimetry for radiation workers handling radionuclides in nuclear medicine departments in India. **Health Physics**, v. 92, n. 2, p. 112-118, 2007.
- [13] JANKOWSKI, J., OLSZEWSKI, J., KLUSKA, K. Distribution of equivalent doses to skin of the hands of nuclear medicine personnel. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 106, n. 2, p. 177-180, 2003.
- [14] SANS-MERCE et al. Recommendations to reduce hand exposure for standard nuclear medicine procedures. **Radiation Measurements**, v. 46, n. 11, p. 1330-1333, 2011.
- [15] DONADILLE, L. et al. An overview of the use of extremity dosimeters in some European countries for medical applications. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 131, n. 1, p. 62-66, 2008.
- [16] INTERNATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION. GINJAUME M. et al. Guidelines to Optimize Extremity Monitoring and to Reduce Skin Doses in Nuclear Medicine. Results of the ORAMED Project. IRPA. Disponível em: <https://www.irpa.net/members/TS2a.3.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2024.
- [17] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 4037-3:2019. Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy. Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence. ISO, 2019.

Ropke *et al.*

- [18] YUKIHARA, E.; MCKEEVER, S. **Optically Stimulated Luminescence: Fundamentals and Applications**. [S.l.]: Wiley, 2011. (Wiley Series in Materials for Electronic & Optoelectronic Applications). ISBN 9780470977217
- [19] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. **Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals - Addendum 3 to ICRP Publication 53**. ICRP Publication 106. Ann. ICRP 38 (1-2), Annex E. 2008.

LICENSE

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

5 Conclusões

Os resultados desse estudo indicam que os fatores de correção estimados pelos autores são de 30 e 8, para o IOE n° 1 e para o IOE n° 2, respectivamente. O fator de correção encontrado para o IOE n° 1 é superior aos valores comumente relatados na literatura, enquanto o fator para o IOE n° 2 está abaixo dos valores relatados. Apesar de utilizarem os mesmos dispositivos e métodos disponibilizados no SMN para a garantia da proteção radiológica, foram encontradas diferenças significativas na avaliação de cada IOE participante do estudo. Tal fato pode estar relacionado com parâmetros que afetam as medidas, em especial tempo de manipulação e hábitos de trabalho específicos de cada IOE. A aplicação do fator de correção aponta para a possibilidade do limite anual de dose equivalente para extremidades ser ultrapassado, mantendo assim a necessidade de uma nova avaliação, revendo os processos e a metodologia adotada. Uma vez que o IOE n° 2 obteve um fator de correção de 8, abaixo do fator de correção para o IOE n° 1, é possível que a padronização de procedimentos nos ambientes de preparo de radiofármacos tenha um potencial significativo na redução da dose equivalente em extremidades.

O estudo evidenciou diversos parâmetros de análise que afetam a distribuição de dose nas mãos dos IOEs: uso de blindagens, experiência individual, mão dominante, tipo de radionuclídeos manuseados, atividade manipulada, tempo de manuseio, tamanho da mão, técnica de fracionamento, entre outros. Atualmente, não há meios estabelecidos para avaliar corretamente o impacto coletivo de cada um dos fatores mencionados, incluindo o uso dos dosímetros nas medições realizadas neste estudo.

Apesar dos avanços alcançados, o estudo apresenta diversas limitações técnicas e de aplicabilidade que precisam ser consideradas. O grande número de parâmetros que influenciam os resultados analisados demanda análises mais detalhadas e específicas. Por exemplo, a realização de estudos observacionais que analisem o tempo de manuseio durante o preparo de radiofármacos pode fornecer variáveis adicionais e aumentar a precisão dos resultados, além de permitir avaliar boas práticas de trabalho. Também, recomenda-se estender o período de coleta de dados, ampliar a amostra de IOEs avaliados e aumentar o número de medições realizadas. O uso de dosímetros termoluminescentes (TLD) é outra recomendação importante, especialmente para superar as limitações mecânicas associadas ao uso de NanoDots™.

Para fins de coleta de dados e avaliação adicional da exposição das mãos e da dose equivalente em extremidades, sugere-se o uso de ferramentas computacionais que simulem deposição de dose por meio do método Monte Carlo, de forma também a permitir a validação dos dados experimentais obtidos. Uma análise detalhada da distribuição da dose

em diferentes regiões das mãos, bem como da dose anual recebida pelos IOEs considerando os fatores de correção encontrados no estudo, será útil para avaliar boas práticas de trabalho. Essas etapas adicionais podem aprimorar a precisão das estimativas e fomentar o desenvolvimento de estratégias mais eficazes e robustas para a proteção radiológica em ambientes de exposição ocupacional.

Referências

- 1 HALL, E.; GIACCIA, A. *Radiobiology for the Radiologist*. [S.l.]: Wolters Kluwer, 2018. ISBN 9781496335418. 3, 5
- 2 TAUHATA, L.; SALATI, P.; PRINZIO, R. D.; PRINZIO, A. D. *Radioproteção e dosimetria: fundamentos*. [S.l.]: CBPF, 2003. 3, 5, 7
- 3 CHERRY, S.; SORENSON, J.; PHELPS, M. *Physics in Nuclear Medicine*. [S.l.]: Elsevier Health Sciences, 2012. (ClinicalKey 2012). ISBN 9781416051985. 3
- 4 CNEN. *Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear*. Brasil: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2013. (Norma CNEN-NN-3.05). 3, 5, 11
- 5 KYRIAKIDOU, A.; SCHLIEF, J.; GINJAUME, M.; KOLLAARD, R. Need for harmonisation of extremity dose monitoring in nuclear medicine: results of a survey amongst national dose registries in Europe. *Journal of Radiological Protection*, v. 41, n. 4, p. 726, nov. 2021. ISSN 0952-4746. Publisher: IOP Publishing. 3, 12
- 6 CARNICER, A. et al. Hand exposure in diagnostic nuclear medicine with ¹⁸F- and ^{99m}Tc-labelled radiopharmaceuticals - Results of the ORAMED project. *Radiation Measurements*, v. 46, n. 11, p. 1277–1282, nov. 2011. ISSN 1350-4487. 3, 11, 13
- 7 DONADILLE, L. et al. An overview of the use of extremity dosimeters in some European countries for medical applications. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 131, n. 1, p. 62–66, ago. 2008. ISSN 0144-8420. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/rpd/ncn229>>. 3, 12
- 8 VANHAVERE, F. et al. An overview on extremity dosimetry in medical applications. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 129, n. 1-3, p. 350–355, mar. 2008. ISSN 0144-8420. 3, 11
- 9 VIEIRA, B. A. B. *Estudo do Equivalente de Dose Individual em Extremidades de Indivíduos Ocupacionalmente Expostos em um Serviço de Medicina Nuclear*. 56 f. Monografia (Especialização) — COORDENAÇÃO DE ENSINO: Programa de Residência em Física Médica/Ênfase em Imagem, Rio de Janeiro, 2018. 3, 12
- 10 GINJAUME, M. et al. *Guidelines to Optimize Extremity Monitoring and to Reduce Skin Doses in Nuclear Medicine. Results of the ORAMED Project*. 2016. Acessado em: 07 dez 2024. Disponível em: <<https://www.irpa.net/members/TS2a.3.pdf>>. 3
- 11 CNEN. *REQUISITOS BÁSICOS DE RADIOPROTEÇÃO E SEGURANÇA RADIOLÓGICA DE FONTES DE RADIAÇÃO*. Brasil: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2024. (Norma CNEN NN 3.01). 3, 5, 6, 7
- 12 YUKIHARA, E.; MCKEEVER, S. *Optically Stimulated Luminescence: Fundamentals and Applications*. [S.l.]: Wiley, 2011. (Wiley Series in Materials for Electronic & Optoelectronic Applications). ISBN 9780470977217. 4, 8, 9, 10

- 13 ICRP. *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. [S.l.]: SAGE Publications, 1990. (Annals of the ICRP). ISBN 0146-6453. 5, 6
- 14 IAEA. *Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation*. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2018. (IAEA Safety Standards Series No. SSG-46). ISBN 978-92-0-101717-8. 5
- 15 IAEA. *Nuclear Medicine Physics*. Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2015. (Non-serial Publications). ISBN 978-92-0-143810-2. 5
- 16 ICRP. *Recommendations of the ICRP*. [S.l.]: SAGE Publications, 1977. (ICRP Publication 26). 6
- 17 ICRP. *ICRP Publication 75: General Principles for the Radiation Protection of Workers*. [S.l.]: SAGE Publications, 1997. (Annals of the ICRP). ISBN 9780080427416. 7
- 18 DOSIMETRIA, I. de Radioproteção e. *Comitê de Avaliação de Serviços e Ensaios de Calibração*. 2024. Acessado em: 07 dez 2024. Disponível em: <https://antigo.ird.gov.br/documentos/CASEC/CASEC_LABORATORIOS_DE_DOSIMETRIA_CERTIFICADOS_OUTUBRO_2023_FINAL.pdf>. 8
- 19 KRY, S. F. et al. Aapm tg 191: Clinical use of luminescent dosimeters: Tlds and oslds. *Medical Physics*, v. 47, p. 19–51, 2020. 8, 9, 10
- 20 ISO. *Radiological protection — X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy. Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence*. [S.l.]: International Organization for Standardization, 2019. (ISO 4037-3:2019). 9
- 21 PERKS, C. A.; LEROY, G.; PRUGNAUD, B. Introduction of the inlight monitoring service. *Radiation protection dosimetry*, v. 125, p. 220–3, 2006. 10
- 22 CNEN. *SERVIÇOS DE RADIOPROTEÇÃO*. Brasil: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2018. (Norma CNEN NE 3.02). 11
- 23 HUDZIETZOVÁ, J.; FÜLÖP, M.; SABOL, J.; DOLEŽAL, J. Assessment of the local exposure of skin on hands of nuclear medicine workers handling 18f-labelled radiopharmaceuticals: Preliminary czech study. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 171, n. 4, p. 445–452, 12 2016. ISSN 0144-8420. 11
- 24 TANDON, P.; VENKATESH, M.; BHATT, B. C. Extremity dosimetry for radiation workers handling radionuclides in nuclear medicine departments in india. *Health Physics*, v. 92, n. 2, p. 112–118, 2007. 11
- 25 COVENS, P.; BERUS, D.; BULS, N.; CLERINX, P.; VANHAVERE, F. Personal dose monitoring in hospitals: global assessment, critical applications and future needs. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 124, n. 3, p. 250–258, 2007. 12
- 26 JANKOWSKI, J.; OLSZEWSKI, J.; KLUSKA, K. Distribution of equivalent doses to skin of the hands of nuclear medicine personnel. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 106, n. 2, p. 177–180, ago. 2003. ISSN 0144-8420. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a006347>>. 12

-
- 27 SANS-MERCE, M. et al. Recommendations to reduce hand exposure for standard nuclear medicine procedures. *Radiation Measurements*, v. 46, n. 11, p. 1330–1333, 2011. 12
- 28 KOLLAARD, R. et al. Review of extremity dosimetry in nuclear medicine. *Journal of Radiological protection*, IOP Publishing Ltd., v. 41, p. 1–29, dez. 2021. ISSN 0952-4746. Score=10. 13

APÊNDICE A – TCLE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Nº do projeto GPPG ou CAAE _____

Título do Projeto: Avaliação da Dose Equivalente de Extremidade em Indivíduos Ocupacionalmente Expostos no Serviço de Medicina Nuclear do Hospital de Clínicas de Porto Alegre

Você está sendo convidado(a) a participar de uma pesquisa cujo objetivo é avaliar os métodos de estimativa da dose equivalente a partir da posição dos dosímetros de extremidade. Esta pesquisa está sendo realizada pelo Serviço de Física Médica e Radioproteção do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA).

Se você aceitar o convite, sua participação na pesquisa envolverá o uso de uma luva para dedos, modificada e preparada com 1 (um) dosímetro OSL NanoDot posicionado nas pontas do dedo indicador e do dedo médio, em ambas as mãos. Além disso, um dosímetro adicional de pulso deverá ser utilizado no pulso que não estiver com seu dosímetro de uso da rotina. Você deverá usar as luvas para dedo modificadas e depois colocar uma luva descartável para realizar suas atividades e evitar possíveis contaminações radioativas aos dosímetros acoplados. As atividades relacionadas ao seu fluxo de trabalho deverão ser realizadas normalmente. Ao final de um mês de uso efetivo dos dosímetros, estes serão enviados para leitura das doses. O uso dessa luva com os dosímetros é necessário por 2 meses.

Os possíveis riscos ou desconfortos decorrentes da participação na pesquisa são risco de quebra de confidencialidade dos dados pessoais dos participantes (nome completo e dose equivalente de extremidade); e possível risco de desconforto devido ao uso do aparato com os dosímetros de extremidade.

Os possíveis benefícios decorrentes da participação na pesquisa são a ciência de um valor de dose equivalente de extremidade mais próximo da realidade clínica, cujos resultados poderão ser utilizados para tornar as medidas de proteção radiológica atualmente em prática mais eficientes.

Sua participação na pesquisa é totalmente voluntária, ou seja, não é obrigatória. Caso você decida não participar, ou ainda, desistir de participar e retirar seu consentimento, não haverá nenhum prejuízo ao vínculo institucional que você tenha com a instituição.

Não está previsto nenhum tipo de pagamento pela sua participação na pesquisa e você não terá nenhum custo com respeito aos procedimentos envolvidos.

Caso ocorra alguma intercorrência ou dano, resultante de sua participação na pesquisa, você receberá todo o atendimento necessário, sem nenhum custo pessoal.

Os dados coletados durante a pesquisa serão sempre tratados confidencialmente. Os resultados serão apresentados de forma conjunta, sem a identificação dos participantes, ou seja, o seu nome não aparecerá na publicação dos resultados.

Caso você tenha dúvidas, poderá entrar em contato com a pesquisadora responsável Josiane Bueno Salazar, ou com os pesquisadores Fernanda Ramos

Rubrica do participante _____

Rubrica do pesquisador _____

Página 1 de 2

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

de Oliveira ou Jocktã Ropke do Nascimento pelo telefone (51) 33598759, ou com o Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA), pelo e-mail cep@hcpa.edu.br, telefone (51) 33596246 ou no endereço Av. Protásio Alves, 211 - Portão 4 - 5º andar do Bloco C - Rio Branco - Porto Alegre/RS, de segunda à sexta, das 8h às 17h.

Esse Termo é assinado em duas vias, sendo uma para o participante e outra para os pesquisadores.

Nome do participante da pesquisa

Assinatura

Nome do pesquisador que aplicou o Termo

Assinatura

Local e Data: _____

ANEXO A – Laboratórios Certificados pelo CASEC/IRD



COMITÊ DE AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS DE ENSAIO E CALIBRAÇÃO - CASEC
INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

Janeiro 2024

**LABORATÓRIOS CERTIFICADOS PARA PRESTAÇÃO DE SERVIÇO DE MONITORAÇÃO INDIVIDUAL
EXTERNA NA GRANDEZA DOSIMÉTRICA EQUIVALENTE DE DOSE INDIVIDUAL Hp(10)**
Validade: 1 de janeiro a 31 de dezembro de 2024

**CDTN - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA
TECNOLOGIA NUCLEAR / CNEN**

Laboratório de Monitoração Individual Externa –
LMIE/CDTN

Certificação: Dosimetria Termoluminescente
Responsável Técnico: Thêssa Cristina Alonso
Ofício: 12/2023/CASEC/IRD/DPD/CNEN/MCTI

ELETRONUCLEAR S.A.

Serviço de Monitoração Individual Externa da
Eletronuclear – SMIE-ETN

Certificação: Dosimetria Termoluminescente
Responsável Técnico: Frederico Augusto Rocha Cruz
Ofício: 10/2023/CASEC/IRD/DPD/CNEN/MCTI

**IFUSP - INSTITUTO DE FÍSICA DA UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO**

Laboratório de Dosimetria das Radiações e Física
Médica - IFUSP

Certificação: Dosimetria Termoluminescente
Responsável Técnico: Emico Okuno
Ofício: 04/2023/CASEC/IRD/DPD/CNEN/MCTI

**IRD - INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA /
CNEN**

Laboratório de Dosimetria de Fótons /Divisão de
Dosimetria - LDF/DIDOS

Certificação: Dosimetria Termoluminescente
Responsável Técnico: Tadeu Augusto de Almeida Silva
Ofício: 13/2023/CASEC/IRD/DPD/CNEN/MCTI

**METROBRAS METROLOGIA DAS RADIAÇÕES
IONIZANTES- LTDA**

Metrobras

Certificação: Dosimetria Termoluminescente
Responsável Técnico: Tiago Chaud de Paula
Ofício: 11/2023/CASEC/IRD/DPD/CNEN/MCTI

**PRO-RAD CONSULTORES EM RADIOPROTEÇÃO S/S
LTDA**

PRO-RAD

Certificação: Dosimetria Termoluminescente
Responsável Técnico: Sérgio Luiz Lena Souto
Ofício: 05/2023/CASEC/IRD/DPD/CNEN/MCTI

**SAPRA LANDAUER - SERVIÇOS DE ACESSORIA E
PROTEÇÃO RADIOLÓGICA LTDA**

SAPRA LANDAUER

Certificação:
(1) Dosimetria Termoluminescente
(2) Dosimetria Luminescente Opticamente
Estimulada

Responsável Técnico:

(1) Maria de Fatima de Andrade Magon
(2) Yvone Maria Mascarenhas

Ofício:

(1) 07a/2023/CASEC/IRD/DPD/CNEN/MCTI
(2) 08/2023/CASEC/IRD/DPD/CNEN/MCTI

TEC-RAD TECNOLOGIA EM RADIOPROTEÇÃO LTDA

TEC-RAD

Certificação: Dosimetria Termoluminescente
Responsável Técnico: Edson Benedito Marcos
Ofício: 09/2023/CASEC/IRD/DPD/CNEN/MCTI

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Laboratório de Proteção Radiológica -
LPR-DEN/UFPE

Certificação: Dosimetria Luminescente
Opticamente Estimulada

Responsável Técnico: Vinícius Saito Monteiro de
Barros

Ofício: 06/2023/CASEC/IRD/DPD/CNEN/MCTI



Documento assinado digitalmente
FRANCISCO CESAR AUGUSTO DA SILVA
Data: 05/01/2024 16:06:15-0100
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

ANEXO B – Parecer emitido pelo CEP

HOSPITAL DE CLÍNICAS DE
PORTO ALEGRE - HCPA



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação da Dose Equivalente de Extremidade em Indivíduos Ocupacionalmente Expostos no Serviço de Medicina Nuclear do Hospital de Clínicas de Porto Alegre

Pesquisador: FERNANDA RAMOS DE OLIVEIRA

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 81290524.5.0000.5327

Instituição Proponente: HOSPITAL DE CLINICAS DE PORTO ALEGRE

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.964.496

Apresentação do Projeto:

As informações elencadas nos campos "Apresentação do Projeto", "Objetivo da Pesquisa" e "Avaliação dos Riscos e Benefícios" foram retiradas do arquivo do projeto e das Informações Básicas da Pesquisa PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_ 2319678, de 01/07/2024.

Em locais que utilizam radiação ionizante, como os Serviços de Medicina Nuclear (SMNs), os trabalhadores devem ser monitorados quanto a quantidade de radiação que recebem em decorrência de suas atividades. Esses trabalhadores são classificados como Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOEs). Cada IOE possui um monitor de radiação individual, chamado dosímetro que, após o período de uso efetivo, é enviado a um laboratório credenciado para a leitura da dose efetiva recebida. De acordo com o Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), o limite anual de dose efetiva para corpo inteiro é de 20 mSv. Já o limite anual de dose equivalente para a pele é de 500 mSv. Uma das principais atividades realizadas por IOEs em SMNs é a manipulação de material radioativo. Nessas circunstâncias, devido ao manuseio, as mãos dos IOEs são mais expostas à radiação do que outras partes do corpo. Em sua norma NN 3.05, a CNEN requer que IOEs que manipulam ou administram materiais radioativos utilizem um monitor individual de extremidade, com o objetivo de medir a dose equivalente na pele. Além disso, na mesma normativa, se estabelece que a dose

Endereço: Av. Protásio Alves, nº 211, Portão 4, Bloco C, 5º andar
Bairro: Rio Branco **CEP:** 90.410-000
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3359-6246 **Fax:** (51)3359-6246 **E-mail:** cep@hcpa.edu.br

Continuação do Parecer: 6.964.496

equivalente deve ser estimada em relação ao ponto de maior exposição, no caso, as pontas dos dedos. Estudos recentes indicam que a dose equivalente de extremidade no ponto de maior exposição e os locais onde são utilizados os dosímetros de extremidade (base do dedo ou no pulso) pode ser subestimada em até 20 vezes. Isso implicaria em valores potencialmente acima dos limites estabelecidos pela CNEN. No entanto, é recomendado pela literatura a realização de estudos individuais a fim de definir a estimativa de dose no ponto de maior exposição, de acordo com a realidade clínica. Desta forma, o objetivo do trabalho é avaliar as doses equivalentes de extremidade nos IOEs do SMN do HCPA a partir dos dosímetros disponíveis no mercado.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

O objetivo principal deste estudo é avaliar as doses equivalentes de extremidade nos IOEs que manipulam material radioativo a partir dos dosímetros de extremidade.

Objetivo Secundário:

Investigar a influência da posição dos dosímetros de extremidade na estimativa de dose equivalente. Avaliar e comparar os valores de dose equivalente dos pontos de maior exposição com os dosímetros de pulso, estabelecendo uma relação entre os valores (fatores de correção).

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Risco de quebra de confidencialidade dos dados pessoais dos participantes (nome completo e dose equivalente de extremidade) e possível risco de desconforto devido ao uso do aparato com os dosímetros de extremidade.

Benefícios:

Ciência de um valor de dose equivalente de extremidade mais próximo da realidade clínica, cujos resultados poderão ser utilizados para tornar as medidas de proteção radiológica atualmente em prática mais eficientes.

A relação risco/benefício do projeto submetido é aceitável e adequada.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

- Delineamento: Estudo prospectivo intervencionista do tipo ensaio de campo.
- Grupos e Recrutamento: Farmacêuticos do serviço de Medicina Nuclear.

Endereço: Av. Protásio Alves, nº 211, Portão 4, Bloco C, 5º andar
Bairro: Rio Branco **CEP:** 90.410-000
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3359-6246 **Fax:** (51)3359-6246 **E-mail:** cep@hcpa.edu.br

Continuação do Parecer: 6.964.496

- Local onde será realizado o estudo: Serviço de Medicina Nuclear do HCPA.
- Intervenção: dosímetros, posicionados em pontos específicos de ambas as mãos dos participantes.
- Critérios de inclusão e exclusão: O critério de inclusão é todos os IOEs que manipulam e fracionam diretamente radiofármacos em sua rotina. O critério de exclusão é IOEs que administram radiofármacos, visto que dentre as funções atualmente exercidas no HCPA, funcionários que administram os radiofármacos não realizam o fracionamento das doses.
- Como serão coletados os dados: através de dosímetro.
- Quem acessará os dados: pesquisadores Josiane Bueno Salazar, Fernanda Ramos de Oliveira e Joctã Ropke do Nascimento.
- Variáveis e período a serem coletadas: A cada 30 dias por um período de 2 meses.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Apresenta TCLE adequado para os fins do projeto de pesquisa.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

As pendências emitidas para o projeto no parecer N.º 6.941.230 foram respondidas pelos pesquisadores, conforme carta de respostas adicionada em 10/07/24 e conforme colado abaixo.

NÃO APRESENTA NOVAS PENDÊNCIAS.

PENDÊNCIA 1. Esclarecer o tamanho da amostra - no corpo do projeto é registrado "3 participantes", posteriormente é referenciado "2 participantes" (número que consta na plataforma). É necessário que este número seja revisado para a liberação deste projeto de pesquisa.

Resposta: Na página 12 do projeto, foi corrigido o número de participantes para o número correto, de 2 participantes, de acordo com o que consta na Plataforma Brasil. A modificação está em vermelho. Segue parágrafo modificado: çDo grupo de funcionários que se encaixam no critério de inclusão estão apenas os farmacêuticos do SMN, que dentre a descrição de suas atividades está a responsabilidade pelo manuseio e fracionamento do material radioativo para preparo das doses a serem injetadas nos pacientes do HCPA. O SMN conta com 2 farmacêuticos, sendo estes os possíveis participantes do estudo. ç

PENDÊNCIA ATENDIDA.

Endereço: Av. Protásio Alves, nº 211, Portão 4, Bloco C, 5º andar
Bairro: Rio Branco **CEP:** 90.410-000
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3359-6246 **Fax:** (51)3359-6246 **E-mail:** cep@hcpa.edu.br

Continuação do Parecer: 6.964.496

Considerações Finais a critério do CEP:

- Diante do exposto, o Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital de Clínicas de Porto Alegre, de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS N.º 466/2012 e na Norma Operacional CNS/Conep N.º 001/2013, manifesta-se pela aprovação do projeto de pesquisa proposto.

- O projeto está aprovado para inclusão ou revisão de registros de 2 participantes neste centro.

- Os projetos executados no HCPA somente poderão ser iniciados quando seu status no sistema AGHUse Pesquisa for alterado para "Aprovado", configurando a aprovação final da Diretoria de Pesquisa.

- Textos e anúncios para divulgação do estudo e recrutamento de participantes deverão ser submetidos para apreciação do CEP, por meio de Notificação, previamente ao seu uso. A redação deverá atender às recomendações institucionais, que podem ser consultadas na Página da Pesquisa do HCPA.

- Eventos adversos deverão ser comunicados de acordo com as orientações da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa - Conep (Carta Circular N.º 13/2020-CONEP/SECNS/MS). Os desvios de protocolo também deverão ser comunicados em relatórios consolidados, por meio de Notificação.

- Deverão ser apresentados relatórios semestrais e um relatório final. Estes relatórios deverão ser submetidos acompanhados do Relatório Consolidado de Eventos Adversos Graves (EAGs), conforme preconiza a Carta Circular nº 13/2020-CONEP/SECNS/MS.

- Os modelos disponíveis para Notificação de Eventos Adversos e Relatórios Consolidados de EAGs podem ser consultados na Página da Pesquisa do HCPA, Área do Pesquisador, aba "Eventos Adversos e Desvios de Protocolo".

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2319678.pdf	10/07/2024 16:47:05		Aceito
Outros	Carta_Resposta.pdf	10/07/2024 16:46:12	JOCTA ROPKE DO NASCIMENTO	Aceito

Endereço: Av. Protásio Alves, nº 211, Portão 4, Bloco C, 5º andar
Bairro: Rio Branco **CEP:** 90.410-000
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3359-6246 **Fax:** (51)3359-6246 **E-mail:** cep@hcpa.edu.br

HOSPITAL DE CLÍNICAS DE
PORTO ALEGRE - HCPA



Continuação do Parecer: 6.964.496

Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_detalhado_Corrigido.pdf	10/07/2024 16:44:56	JOCTA ROPKE DO NASCIMENTO	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto_Assinada_Pesquisador_e_Inst.pdf	01/07/2024 15:42:14	JOCTA ROPKE DO NASCIMENTO	Aceito
Declaração de concordância	DeclConcord_Fernanda.pdf	18/04/2024 10:51:42	Milene Gladzik Rangel	Aceito
Solicitação registrada pelo CEP	SolicRegCEP_Fernanda.pdf	18/04/2024 10:51:42	Milene Gladzik Rangel	Aceito
Solicitação Assinada pelo Pesquisador Responsável	Delegacao.pdf	17/04/2024 15:19:57	JOCTA ROPKE DO NASCIMENTO	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Modelo_TCLE.pdf	11/04/2024 12:22:36	JOCTA ROPKE DO NASCIMENTO	Aceito
Outros	Igpd2.pdf	11/04/2024 12:21:34	JOCTA ROPKE DO NASCIMENTO	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_Rosto_Assinada.pdf	11/04/2024 12:19:43	JOCTA ROPKE DO NASCIMENTO	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

PORTO ALEGRE, 24 de Julho de 2024

Assinado por:
Daisy Crispim Moreira
(Coordenador(a))

Endereço: Av. Protásio Alves, nº 211, Portão 4, Bloco C, 5º andar
Bairro: Rio Branco **CEP:** 90.410-000
UF: RS **Município:** PORTO ALEGRE
Telefone: (51)3359-6246 **Fax:** (51)3359-6246 **E-mail:** cep@hcpa.edu.br

ANEXO C – Modelo de Artigo BJRS



doi.org/10.15392/2319-0612.202x.2222

202x, V(I) | 01-10 | e2222

Submitted: 202x-mm-aa

Accepted: 202x-mm-dd



Article title: guidelines for Brazilian Journal of Radiation Sciences MS Word template

Family-Name ^{a*}, A. G. N.; Family-Name ^b, A. G. N.

^a Institution name, Postal code, City, State, Country.

^b Institution name, Postal code, City, State, Country

*Correspondence: author_email@institution.com

Abstract: The author will find in this template formatting guidelines to the article to be submitted to the Brazilian Journal of Radiation Sciences. Read it carefully. The text must be written in English. All formatting styles used in this template are available in the MS Word style box, on the taskbar. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Praesent feugiat eleifend purus ut finibus. Etiam augue nulla, ultricies ac consequat ac, malesuada id dui. Quisque ullamcorper mauris turpis, ac faucibus massa aliquam sed. Ut vitae augue eros. Duis sit amet blandit lectus. Mauris et nisl et ipsum dapibus tempus a semper nisi. Aliquam a magna vitae magna volutpat lobortis sit amet quis urna. Nam tincidunt diam sit amet lectus facilis bibendum. Phasellus mollis nibh sed quam dapibus, quis consequat est convallis. Sed dapibus nisl ut quam ultricies, quis convallis urna luctus. Duis ultricies mauris id ipsum tempus, nec molestie metus condimentum. Praesent non magna erat. Curabitur interdum, turpis vitae porttitor condimentum, justo elit gravida ante, quis dapibus mi neque eu erat. Morbi eget lectus fermentum, pellentesque nunc eget, efficitur massa. Vivamus sagittis iaculis lorem ac sollicitudin. Cras commodo maximus libero, ullamcorper pellentesque ante dapibus aliquet. Cras fringilla nisi sit amet neque efficitur, eu posuere eros placerat. Nunc vulputate elit et nisl tincidunt egestas sit amet vel nisl. Pellentesque urna odio, accumsan venenatis porttitor nec, mollis a ante. Mauris augue enim, varius in urna nec, eleifend malesuada mi.

Keywords: keyword 1, keyword 2, keyword 3, keyword 4.





Title in second language

(Portuguese, Spanish or French)

Resumo/Resumen/Résumé: Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Praesent feugiat eleifend purus ut finibus. Etiam augue nulla, ultricies ac consequat ac, malesuada id du. Quisque ullamcorper mauris turpis, ac faucibus massa aliquam sed. Ut vitae augue eros. Duis sit amet blandit lectus. Mauris et nisl et ipsum dapibus tempus a semper nisi. Aliquam a magna vitae magna volutpat lobortis sit amet quis urna. Nam tincidunt diam sit amet lectus facilisis bibendum. Phasellus mollis nibh sed quam dapibus, quis consequat est convallis. Sed dapibus nisl ut quam ultricies, quis convallis urna luctus. Duis ultricies mauris id ipsum tempus, nec molestie metus condimentum. Praesent non magna erat. Curabitur interdum, turpis vitae porttitor condimentum, justo elit gravida ante, quis dapibus mi neque eu erat. Morbi eget lectus fermentum, pellentesque nunc eget, efficitur massa. Vivamus sagittis iaculis lorem ac sollicitudin. Cras commodo maximus libero, ullamcorper pellentesque ante dapibus aliquet. Cras fringilla nisi sit amet neque efficitur, eu posuere eros placerat. Nunc vulputate elit et nisl tincidunt egestas sit amet vel nisl. Pellentesque urna odio, accumsan venenatis porttitor nec, mollis a ante. Mauris augue enim, varius in urna nec, eleifend malesuada mi.

Palavras-chave: keyword 1, keyword 2, keyword 3, keyword 4.

1. INTRODUCTION

Paragraph default style. Style name (MS Word taskbar): [BJRS] Paragraph. Font family: Gramond. Font size: 14 pt. Line spacing: 1,5. Paragraph space before/after: 0 pt / 6 pt. Justified. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Praesent feugiat eleifend purus ut finibus. Etiam augue nulla, ultricies ac consequat ac, malesuada id dui. Quisque ullamcorper mauris turpis, ac faucibus massa aliquam sed. Ut vitae augue eros.

Paragraph default style. Style name (MS Word taskbar): [BJRS] Paragraph. Font family: Gramond. Font size: 14 pt. Line spacing: 1,5. Paragraph space before/after: 0 pt / 6 pt. Justified. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Praesent feugiat eleifend purus ut finibus. Etiam augue nulla, ultricies ac consequat ac, malesuada id dui. Quisque ullamcorper mauris turpis, ac faucibus massa aliquam sed. Ut vitae augue eros [2].

Long citation style. Style name (MS Word taskbar): [BJRS] Long citation. Indent: 4 cm. Font family: Gramond. Font size: 13 pt. Line spacing: 1,0. Paragraph space before/after: 0 pt / 12 pt. Justified. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Praesent feugiat eleifend purus ut finibus. Etiam augue nulla, ultricies ac consequat ac, malesuada id dui. Quisque ullamcorper mauris turpis, ac faucibus massa aliquam sed. Ut vitae augue eros.

1.1. Subtitle

Paragraph default style. Style name (MS Word taskbar): [BJRS] Paragraph. Font family: Gramond. Font size: 14 pt. Line spacing: 1,5. Paragraph space before/after: 0 pt / 6 pt. Justified. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Praesent feugiat eleifend purus ut finibus. Etiam augue nulla, ultricies ac consequat ac, malesuada id dui. Quisque ullamcorper mauris turpis, ac faucibus massa aliquam sed. Ut vitae augue eros [2].

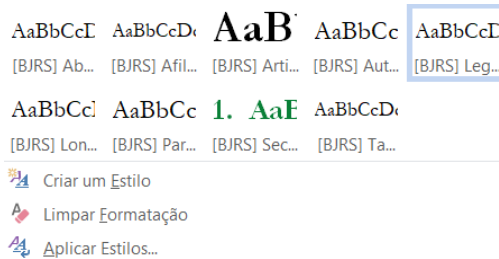
Paragraph default style. Style name (MS Word taskbar): [BJRS] Paragraph. Font family: Gramond. Font size: 14 pt. Line spacing: 1,5. Paragraph space before/after: 0 pt / 6 pt.

Justified. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Praesent feugiat eleifend purus ut finibus. Etiam augue nulla, ultricies ac consequat ac, malesuada id dui. Quisque ullamcorper mauris turpis, ac faucibus massa aliquam sed. Ut vitae augue eros [4].

2. MATERIALS AND METHODS

Paragraph default style. Style name (MS Word taskbar): [BJRS] Paragraph. Font family: Gramond. Font size: 14 pt. Line spacing: 1,5. Paragraph space before/after: 0 pt / 6 pt. Justified. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Praesent feugiat eleifend purus ut finibus. Etiam augue nulla, ultricies ac consequat ac, malesuada id dui. Quisque ullamcorper mauris turpis, ac faucibus massa aliquam sed. Ut vitae augue eros [4].

Figure 1: Legend style. Style name (MS Word taskbar): [BJRS] Legend. Font family: Gramond. Font size: 12 pt. Line spacing: 1,0. Paragraph space before/after: 3 pt / 3 pt. Centered



Source : Printscreen from Microsoft Word 2013 taskbar. Legend style.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Paragraph default style. Style name (MS Word taskbar): [BJRS] Paragraph. Font family: Gramond. Font size: 14 pt. Line spacing: 1,5. Paragraph space before/after: 0 pt / 6 pt. Justified. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Praesent feugiat eleifend

purus ut finibus. Etiam augue nulla, ultricies ac consequat ac, malesuada id dui. Quisque ullamcorper mauris turpis, ac faucibus massa aliquam sed. Ut vitae augue eros.

Table 1 : Legend style. Style name (MS Word taskbar): [BJRS] Legend. Font family: Gramond. Font size: 12 pt. Line spacing: 1,0. Paragraph space before/after: 3 pt / 3 pt. Centered

HEAD	HEAD	HEAD	HEAD	HEAD	HEAD
1	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data
2	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data
3	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data
4	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data
5	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data
6	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data
7	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data	Cell data

Table style. Style name (MS Word taskbar): [BJRS] Table. Font family: Gramond. Font size: 11 pt. Line spacing: 1,0. Paragraph space before/after: 0 pt / 0 pt. Alignment: middle/center. Cell padding: Top/botom = 0,1 cm, left/right = 0,19.

Paragraph default style. Style name (MS Word taskbar): [BJRS] Paragraph. Font family: Gramond. Font size: 14 pt. Line spacing: 1,5. Paragraph space before/after: 0 pt / 6 pt. Justified. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Praesent feugiat eleifend purus ut finibus. Etiam augue nulla, ultricies ac consequat ac, malesuada id dui. Quisque ullamcorper mauris turpis, ac faucibus massa aliquam sed. Ut vitae augue eros.

4. CONCLUSIONS

Paragraph default style. Style name (MS Word taskbar): [BJRS] Paragraph. Font family: Gramond. Font size: 14 pt. Line spacing: 1,5. Paragraph space before/after: 0 pt / 6 pt. Justified. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Praesent feugiat eleifend purus ut finibus. Etiam augue nulla, ultricies ac consequat ac, malesuada id dui. Quisque ullamcorper mauris turpis, ac faucibus massa aliquam sed. Ut vitae augue eros.

ACKNOWLEDGMENT

Examples:

This research was supported/partially supported by [Name of Foundation, Grant maker, Donor]. We thank our colleagues from [Name of the supporting institution] who provided insight and expertise that greatly assisted the research, although they may not agree with all of the interpretations/conclusions of this paper.

We thank [Name Surname, title] for assistance with [particular technique, methodology], and [Name Surname, position, institution name] for comments that greatly improved the manuscript.

We would also like to show our gratitude to the (Name Surname, title, institution) for sharing their pearls of wisdom with us during the course of this research, and we thank 3 “anonymous” reviewers for their so-called insights. We are also immensely grateful to (List names and positions) for their comments on an earlier version of the manuscript, although any errors are our own and should not tarnish the reputations of these esteemed persons.

FUNDING

Authors are required to declare what support they received to carry out their research. Declaring funding sources acknowledges funders' contributions, fulfills funding requirements, and promotes greater transparency in the research process. Please inform the funding agency and the funding award number.

CONFLICT OF INTEREST

Conflicts of Interest are ubiquitous and cannot be completely eliminated from the editorial and/or authoring process. However, they can be managed constructively so that they exert as little intrusion as possible on the journal, its content and its credibility. All statements about COI by the author are requested in writing - in the notes to editor field - as a condition for analyzing a manuscript, so that authors will have a high probability of reporting possible conflicts of interest related to the manuscript, if there is.

Examples:

John Smith declares no conflicts of interest. Jane Williams has received a research grant from Organization A. Mike Miller is an employee and owns stock in Company B.

ABC was executive director of Organization A and received a part-time salary for this work. DEF is on the board of Journal X. GHI has a patent pending for Compound Y. The remaining authors have no conflicts of interest to declare.

We have no conflicts of interest to disclose.

All authors declare that they have no conflicts of interest.

REFERENCES

- [1] *Journal Article reference pattern*: [Author LAST NAME], [Author First/Middle Name Initial(s)]. [Title of the article]. [**Name of the Journal**], [Publisher Location], v. [Volume Number], n. [Issue Number], p. [Page number starts]-[ends], [Publication Year].
- [2] *Journal Article reference example*: SILVA, V. A.; ANDRADE, L. H. C. Etnobotânica Xucuru: mystical species. **Biotemas**, Florianópolis, v. 15, n. 1, p. 45-57, 2002.
- [3] *Book Chapter reference pattern*: [Author LAST NAME], [Author First/Middle Name Initial(s)]. [Title of the chapter]. *In*: [Author/Editor LAST NAME], [Author/Editor First/Middle Name Initial(s)]. ([abbr. Contributor's Role as applicable]). [**Title of the**

book. [Publisher Location]: [Publisher Name], [Publication Year]. p. [Page number starts]-[ends]. ISBN [Number].

- [4] *Book Chapter reference example*: O'NEIL, J. M.; EGAN, J. Men's and women's gender role journeys: A metaphor for healing, transition, and transformation. *In*: WAINRIB, B. R. (Ed). **Gender issues across the life cycle**. New York, NY, US: Springer Publishing Co, 1992. p. 107–123. ISBN 0-8261-7680-1.
- [5] *Published Conference Paper reference pattern*: [Author LAST NAME], [Author First/Middle Name Initial(s)]. [Title of the conference paper]. *In*: [TITLE OF THE PROCEEDINGS] [Date and Location of the Conference]. **[Document Title]**... [Publisher Location]: [Publisher Name], [Publication Year].
- [6] *Published Conference Paper reference example*: PIERSON, E.; ALTHOFF, T.; LESKOVEC, J. Modeling individual cyclic variation in human behavior. *In*: PROCEEDINGS OF THE 2018 WORLD WIDE WEB CONFERENCE 2018, Lyon, France. **Anais...** Republic and Canton of Geneva, Switzerland: International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2018.
- [7] *Website reference pattern*: [Organization NAME] or [Author LAST NAME], [Author First/Middle Name Initial(s)]. [Name of the Website]. Disponível em: [URL]. Acesso em: [Access date].
- [8] *Website reference example*: REACT. Rapid Early Action for Coronary Treatment. Disponível em: <http://www.epi.umn.edu/react/>. Acesso em: 17 jan. 2018.
- [9] *More ABNT examples*: EBSCO. EBSCO Host. ABNT Style. Available at: https://support.ebsco.com/help/?int=ehost&ver=live&lang=en&feature_id=ABNT. Accessed on: 27 Dec. 2023.

LICENSE

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.