



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE MEDICINA DA BAHIA
Fundada em 18 de fevereiro de 1808



Monografia

Exposição ao radônio em ambiente residencial e câncer de pulmão: uma revisão de literatura

Wilker Herkson de Almeida Oliveira

Salvador (Bahia)
Março, 2013

Ficha catalográfica

(elaborada pela Bibl. **SONIA ABREU**, da Biblioteca Gonçalo Moniz: Memória da Saúde Brasileira/SIBI-UFBA/FMB-UFBA)

Oliveira, Wilker Herkson de Almeida

O48 Exposição ao radônio em ambiente residencial e câncer de pulmão: uma revisão de literatura / Wilker Herkson de Almeida Oliveira. Salvador: 2013.

30 p.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia Franco Rêgo.

Monografia (Conclusão de Curso) Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Medicina da Bahia,
Salvador, 2013.

1. Radônio. 2. Pulmões - câncer. 3. Doenças ambientais. I. Rêgo, Rita de Cássia Franco
II. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Medicina. III. Título.

CDU - 616.24-006



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE MEDICINA DA BAHIA
Fundada em 18 de fevereiro de 1808



Monografia

Exposição a radônio em ambiente residencial e câncer de pulmão: revisão de literatura

Wilker Herkson de Almeida Oliveira

Professor orientador: **Rita de Cássia Franco Rêgo**

Monografia de conclusão do componente curricular MED-B60, e como pré-requisito obrigatório e parcial para conclusão do curso médico da Faculdade de Medicina da Bahia da Universidade Federal da Bahia, apresentada ao Colegiado do Curso de Graduação em Medicina.

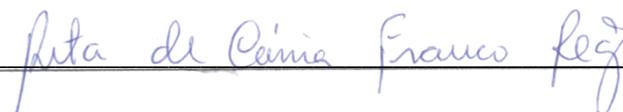
Salvador (Bahia)
Março, 2013

Monografia: *Exposição ao radônio em ambiente residencial e câncer de pulmão: revisão de literatura.* **Wilker Herkson de Almeida Oliveira**

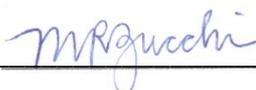
Professor orientador: **Rita de Cássia Franco Rêgo**

COMISSÃO REVISORA

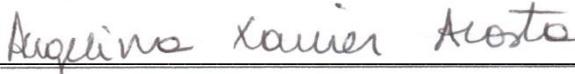
- **Rita de Cássia Franco Rêgo** (Presidente), Professora Associada do Departamento de Medicina Preventiva e Social da Faculdade de Medicina da Bahia da Universidade Federal da Bahia. Doutora em Saúde Pública.

Assinatura: 

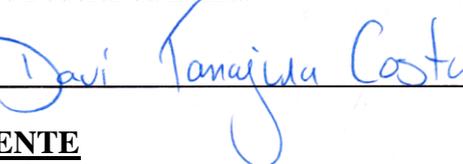
- **Maria Zucchi**, Professora Adjunta do Departamento de Física da Terra e do Meio Ambiente do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia.

Assinatura: 

- **Angelina Acosta**, Professora Associada do Departamento de Pediatria da Faculdade de Medicina da Bahia da Universidade Federal da Bahia.

Assinatura: 

- **Davi Tanajura Costa**, Doutorando do Curso de Dourado do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde (PPgCS) da Faculdade de Medicina da Universidade Federal da Bahia.

Assinatura: 

MEMBRO SUPLENTE

- **Lilian Lessa Andrade Lino**, Professora Adjunta do Departamento de Ciências de Alimentos da Escola de Nutrição da Universidade Federal da Bahia.

TERMO DE REGISTRO ACADÊMICO: Monografia avaliada pela Comissão Revisora, e julgada apta à apresentação pública no IV Seminário Estudantil de Pesquisa da Faculdade de Medicina da Bahia/UFBA, com posterior homologação do registro final do conceito pela coordenação do Núcleo de Formação Científica e de MED-B60 (Monografia IV). Chefia do Departamento de Medicina Preventiva e Social da Faculdade de Medicina da Bahia-UFBA. Salvador (Bahia), em ____ de _____ de 2013.

Dedico este trabalho de formação a minha família que sempre esteve presente nessa minha caminhada, em especial aos meus pais Ana Lúcia e Antonio Raimundo.

EQUIPE

- **WILKER HERKSON DE ALMEIDA OLIVEIRA**, Acadêmico de Medicina da Faculdade de Medicina da Bahia (FMB) da Universidade Federal da Bahia.
- **RITA DE CÁSSIA FRANCO RÊGO**, Professor orientador. Professora Associada do Departamento de Medicina Preventiva e Social da Faculdade de Medicina da Bahia da Universidade Federal da Bahia. Doutora em Saúde Pública.

INSTITUIÇÕES PARTICIPANTES

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

- Faculdade de Medicina da Bahia

FONTE DE FINANCIAMENTO

- Recursos próprios

AGRADECIMENTOS

- Agradeço em especial a Prof^a Rita de Cássia Franco Rêgo por sua orientação durante a confecção desse trabalho, demonstrando zelo, paciência e dedicação, além de ter apresentado disponibilidade para transmitir seus ensinamentos.
- A enfermeira Taiana Sacramento Lopes, minha companheira, por sua disposição em ajudar na elaboração e correção deste trabalho.
- Aos colegas de turma Mauro Tupiniquim Bina, Thiago Fagner Inácio Vilar, Natan Ferreira Cruz Ribeiro que sempre se mostraram receptivo nos momentos de dúvida.
- Ao Prof^o José Tavares-Neto por suas orientações, sua dedicação e disponibilidade sempre que solicitado.
- Aos membros da Comissão Revisora Prof^a Angelina Acosta, Prof^a Maria Zucchi e ao Doutorando Davi Tanajura Costa pela correção deste trabalho.

ÍNDICE

I. RESUMO	2
II. OBJETIVOS	3
III. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
IV. METODOLOGIA	8
V. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
V.1 Características presentes em ambientes fechados que estão associadas a um maior grau de exposição ao radônio	14
V.2. Relação entre características sócio-demográficas e os efeitos das concentrações de radônio em ambientes fechados	17
V.3. Tipos histológicos de câncer de pulmão mais freqüente associado à exposição do radônio em ambientes fechados	19
V.4. Efeito combinado da exposição ao radônio com os principais fatores de risco associados ao câncer de pulmão	20
V. 5 Mortalidade por câncer de pulmão associada a exposição residencial ao radônio	23
VI. CONCLUSÃO	26
VII. SUMMARY	27
VIII. REFERÊNCIA:	28

RESUMO

OLIVEIRA, WHA. EXPOSIÇÃO AO RADÔNIO EM AMBIENTE RESIDENCIAL E CÂNCER DE PULMÃO: UMA REVISÃO DE LITERATURA.

A elevada concentração de radônio em ambientes internos aumenta a exposição da população aos efeitos danosos desse gás, um agente carcinogênico comprovado.

OBJETIVO: Realizar uma revisão de literatura a fim de analisar a relação entre à exposição ao radônio em ambientes fechados e o desenvolvimento do câncer de pulmão.

METODOLOGIA: Revisão de literatura realizada nas bases de dados Pubmed/MEDLINE e Scopus sendo usado os descritores em inglês “Radon”; “lung câncer”, “indoor”; e “residential”. A interpretação do material se fundamentou nos princípios da análise temática.

RESULTADOS: Foram selecionados 16 artigos do Scopus e 13 artigos do Pubmed/MEDLINE, destes 9 artigos eram comuns aos dois bancos de dados, restando ao fim 20 artigos. **CONCLUSÃO:** A exposição residencial ao radônio aumenta o risco de desenvolver do câncer de pulmão, principalmente quando outros fatores de risco estão associados. O grau de concentração de radônio nas residências está relacionado à presença de algumas características relacionadas à construção das casas. Além disso, a exposição ao radônio está associada ao aparecimento do câncer de pequenas células. No Brasil, há ainda a necessidade de estudos que quantifiquem a concentração de radônio em residências

Palavras-chaves: 1. Radônio; 2. Pulmões – câncer; 3. Doenças ambientais

II. OBJETIVOS

PRINCIPAL:

O objetivo desse estudo é realizar uma revisão de literatura a fim de analisar a relação entre a exposição ao radônio em ambientes fechados e o desenvolvimento do câncer de pulmão.

SECUNDÁRIOS:

1. Identificar o efeito combinado do tabagismo e da exposição ao radônio como fatores de risco para o câncer de pulmão;
2. Identificar os tipos histológicos de câncer de pulmão mais frequente associado à exposição do radônio em ambientes fechados;
3. Identificar a mortalidade de câncer de pulmão relacionada a exposição residencial ao radônio.

III. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Estima-se que anualmente a população está exposta a uma dose média de 2,4 milisievert (mSv) de radiação decorrente de exposições as fontes radioativas naturais. O isótopo radônio (^{222}Rn) é um gás nobre responsável por aproximadamente metade das doses de radiação de ocorrência natural, sendo considerado um poluente onipresente no ar. Surge do decaimento radioativo do urânio (^{238}U), que pode ser encontrado no meio ambiente em rochas, solo, ar e água.

O urânio é um elemento químico naturalmente radioativo que “decai” ao longo dos anos se transmutando em vários outros elementos, em uma estrutura sequencial denominada cadeia ou série de decaimento radioativo. O ^{222}Rn é descendente do rádio (^{226}Ra), que por sua vez, é o 5º descendente do ^{238}U . O ^{226}Ra é um radionuclídeo que tem meia-vida longa de 1600 anos, ao contrário do ^{222}Rn , que é foco das preocupações de saúde pública devido à sua meia-vida de apenas 3,82 dias, tempo suficiente para contaminar o ar atmosférico e trazer risco à saúde (Brito & Rêgo, 2012).

O urânio não é o agente mais importante enquanto fator de risco à saúde humana, cabendo esse papel ao radônio. Qualquer possível risco direto de câncer ou outro problema de saúde provocada pela exposição ao urânio, é provavelmente, menor que 0,005%, em comparação com um risco esperado indireto de 0,2% a 3% associado à inalação do gás radônio, produzido pelo decaimento do ^{238}U (Taylor. D; Taylor. S, 1997).

O radônio pode ser encontrado nas rochas e no solo, assim como em materiais que são usados para construir residências e edifícios em geral, onde a população passa a maior parte do tempo (Taylor. D; Taylor. S, 1997). Segundo a Agência de Proteção Ambiental Americana (*Environmental Protection Agency - EPA*), as elevadas concentrações de radônio no interior de imóveis residenciais ou em ambientes de trabalho aumenta a exposição da população aos efeitos danosos do radônio, um agente carcinogênico comprovado (EPA, 2012).

Há evidências que a inalação do radônio traz prejuízos significativos à saúde humana, por ser esse elemento o único da cadeia de decaimento do urânio a se apresentar na natureza sob a forma de um gás radioativo (ANL, 2005). Porém, é importante ressaltar que não é o radônio o responsável direto pela elevação dos riscos a saúde, mas sim a sua progênie a qual engloba alguns alfa emissores de meia-vida muito curta. Quando se decompõe, emitindo uma partícula alfa (ANL, 2005), o radônio dá origem a uma “cadeia de decaimentos” com seus próprios descendentes que são nomeados como membros da Progênie do Decaimento do Radônio (Radon Decay Progeny – RDP) ou Filhas do ^{222}Rn de Vida Curta (*Short-Lived Radon-222 Daughters - SLRD*). As partículas alfa emitidas pela desintegração do radônio e dos RDPs no interior dos pulmões são portadoras de alta energia de ionização, e essas energias, depositadas nas células, como as células do parênquima pulmonar, podem danificar o DNA e eventualmente dar origem a um câncer de pulmão (ACS, 2012). Atualmente a Organização Mundial de Saúde considera o radônio e seus descendentes como um agente carcinogênico, que está diretamente associado ao desenvolvimento do câncer de pulmão (EPA, 2012).

Até o início do século XX, o câncer do pulmão era considerado uma doença rara. Porém, sua ocorrência aumentou rapidamente passando a ser a neoplasia mais freqüente na população mundial. Hoje, é considerada a causa mais importante de morte por câncer no mundo. A mais recente estimativa mundial apontou uma incidência de 1,61 milhões de casos novos de câncer do pulmão para o ano de 2008, representando 12,7% de todos os novos casos de câncer (INCA, 2008).

O câncer de pulmão é um problema de saúde pública, geralmente, associado ao hábito de fumar. Na maioria das populações, 80% dos casos desse tipo de câncer está relacionados ao tabagismo. Quando comparados com os não fumantes, os tabagistas apresentam de 20 a 30 vezes mais risco de desenvolver essa neoplasia (INCA, 2008).

Entretanto, atualmente vem-se investigando outros fatores de risco que contribuem para o seu desenvolvimento, que incluem exposição a carcinógenos ocupacionais e ambientais como radônio, amianto, arsênico e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (Magalhães et al., 2003).

As primeiras evidências epidemiológicas sobre o risco de câncer de pulmão associado à exposição ao radônio ocorreu através de pesquisas realizadas com mineiros que trabalhavam em regiões subterrâneas onde a concentração ^{222}Rn são relativamente altas. Entretanto, passou-se a demonstrar que o nível de exposição média anual destes trabalhadores apresentava níveis semelhantes às concentrações presente em alguns ambientes fechados, como residências. Assim, a discussão do risco de exposição ao ^{222}Rn passou a abordar a população em geral, centrando-se principalmente nos ambientes internos (Magalhães et al., 2003).

Por ser um gás, o radônio produzido em interior de rochas e solo se difundem rapidamente através de fissuras, tubulações e buracos, até alcançar superfície terrestre (Marques et al., 2004). No ar livre as concentrações de ^{222}Rn são baixas, mas é ambiente fechados e com pouca ventilação, ele se acumula, passando então a representar um risco potencial a saúde da população. Quando os solos, por exemplo, permitem uma grande difusão de radônio, as edificações construídas sobre o mesmo terão altas concentrações desse gás, necessitando de grandes massas de ar circulante para esvaí-lo (Geraldo et al., 2005).

Em todo o mundo, cerca de dois átomos de radônio em média são emitidos por segundo para cada centímetro quadrado de solo da terra em um dia (ANL, 2005). Assim quase todas as casas apresentam radônio em seus ambientes internos e externos. Apesar da principal fonte geradora do radônio ser o solo, porém ele surge também no ambiente interior através do uso e ingestão de água subterrânea com altos teores de rádio e ou radônio. Acredita-se que a água contribui com 1 a 7% do radônio presente no ambiente interno de uma residência. Qualquer atividade que exponha água ao contato com o ar atmosférico tais como banho, lavagem de roupa, lavagem de louça, etc., libera radônio (Al-mosa, 2007).

A concentração de radônio no interior depende principalmente dos seguintes fatores: (1) a natureza do solo sobre a qual a edificação está; (2) a natureza dos materiais de construção; (3) as condições climáticas; (4) o gradiente de pressão entre o ar e superfície; (5) as estações do ano; (6) os materiais utilizados na construção civil; (7) e níveis de circulação de ar por janelas e portas (Geraldo et al., 2005).

O radônio pode ser medido em picocuries por litro de ar (pCi/L) ou em expressos em unidades de Becquerel por metro cúbico (Bq/m³). O Becquerel é a unidade de medida de desintegração nuclear e equivale a uma desintegração por segundo, referida como s⁻¹. Essas unidades são assim denominadas em homenagem a Antoine Henri Becquerel (1852 – 1908), e ao casal Pierre (1859 – 1906) e Marie Curie (1867 – 1934), descobridores da radioatividade. A EPA (2012) recomenda que nas residências os níveis de radônio seja mantido abaixo dos 4 pCi / L, ou seja, que apresentem níveis de concentração de radônio inferiores a 148 Bq/m³.

No Brasil, observa-se o desconhecimento por parte da população em geral em relação a um item gerador de grande preocupação mundial. No país, existem poucos estudos que evidenciam os níveis de radônio em locais fechados e que relacionam estes ao risco de desenvolvimento de câncer de pulmão. Considerando que atualmente esse tipo neoplasia é a que apresenta a maior frequência em toda população mundial, busca-se com essa pesquisa incentivar a realização de estudos no país, a fim de identificar edifícios com concentrações elevadas de radônio e iniciar as medidas de mitigação adequadas, para minimizar a exposição a esse radionuclídeo, particularmente em edifícios novos.

IV. METODOLOGIA DA PESQUISA

Tratar-se de uma revisão de literatura com uma avaliação documental e abordagem descritiva, no qual será analisada a relação entre a exposição ao radônio em ambientes fechados e o risco de desenvolvimento do câncer de pulmão. Segundo Almeida (1992), a revisão bibliográfica é o levantamento, a seleção e o fichamento de documentos, tendo como objetivos: acompanhar a evolução de um assunto, atualizar conhecimentos e conhecer as contribuições teóricas, culturais e científicas publicada sobre o tema.

No período de outubro de 2012 foi realizado um levantamento bibliográfico em bancos de dados Pubmed e Scopus, utilizando como estratégia de busca os descritores em inglês: “Radon”; “lung câncer”, “indoor”; e “residential”, com o uso do operador booleano “AND” e “OR” da seguinte forma: [“radon” AND “lungcancer”] e AND “[indoor” OR “residential”].

Como critérios de inclusão foram adotados artigos científicos publicados nos últimos 10 anos que correspondeu ao período de janeiro de 2003 a outubro de 2012; disponíveis na íntegra no portal CAPES-UFBA; estudos envolvendo seres humanos; nos idiomas inglês, espanhol e português; e que atendessem aos objetivos desse estudo. Foram excluídos as revisões sistemáticas e os artigos que tratavam de exposição ao radônio em minas subterrâneas e ambientes abertos.

Usando os critérios de inclusão e exclusão inicialmente foi feita uma pré-seleção dos artigos científicos e a partir da leitura dos seus títulos e resumos. Em seguida, foi realizada uma análise das publicações na íntegra a fim de ser feita uma seleção final.

As publicações selecionadas foram estratificadas e distribuídas em tabelas com relação aos seguintes itens: título do trabalho; ano de publicação; autor(es); país; achado científico principal; periódicos; e, base de dados encontradas.

A análise e interpretação do material se fundamentaram nos princípios da análise temática. A fim de responder aos objetivos do estudo, o material foi organizado e categorizado em núcleos temáticos, que a seguir serão descritos, analisados e discutidos. De acordo com Minayo (2004), a análise temática busca os núcleos de sentido presentes no material a ser analisado, cuja presença ou frequência possam ter significado, ou seja, possam contribuir para obtenção dos objetivos da pesquisa

V. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na base de dados do Scopus utilizando os critérios de inclusão e exclusão foram encontrados 261 artigos para os descritores na seguinte forma: [“radon” AND “lung câncer”]. Quando foram usados os descritores [“indoor” OR “residential”] encontrou-se 14.700 artigos. Combinando as duas estratégias de busca, fazendo o uso do operador booleano AND, foram obtidos como produto final 126 artigos. A partir da leitura dos resumos foram pré-selecionados 31 artigos, sendo excluídos 95 por não se tratar do tema em questão. Dos 31 pré-selecionados, apenas 21 estavam disponíveis na íntegra no portal CAPES-UFBA (Tabela 1). Após a leitura completa foram excluídos 05 artigos, que não atendiam ao objetivo deste estudo.

No banco de dados Pubmed/MEDLINE quando foram utilizados os descritores na forma [“radon” AND “lung câncer”] encontrou-se 848 estudos. Já para os descritores [“indoor” OR “residential”], foram encontrados 29.818 artigos. Seguindo a mesma sistemática utilizada no banco de dados anterior foram encontrados 87 artigos. Alguns apresentavam resumo incoerente com o tema sendo excluídos. Ao final foram pré-selecionado 23 artigos, destes apenas 16 disponíveis no portal CAPES-UFBA.

Conforme o Quadro 1, foram selecionados 16 artigos do Scopus e 13 artigos do Pubmed/MEDLINE, destes 9 artigos eram comuns aos dois bancos de dados, restando ao fim 20 artigos.

Quadro 1: Frequência de artigos encontrados, pré-selecionados e selecionados após aplicação dos critérios de inclusão/exclusão por base de dados, 2003-2012:

BASE DE DADOS	ARTIGOS ENCONTRADOS	ARTIGOS PRÉ-SELECIONADOS	ARTIGOS DISPONÍVEIS NO CAPES	ARTIGOS SELECIONADOS
MEDLINE	87	23	16	13
SCOPUS	126	31	21	16
Repetidos	61	20	12	09
TOTAL	152	33	25	20

No Quadro 2, são apresentados os principais resultados dos artigos selecionados.

QUADRO 2: Síntese dos principais resultados dos artigos selecionados de estudos da associação entre exposição residencial a radônio e câncer de pulmão, 2003-2012.

Título	Autor /ano	País	Achado Principal	Periódico	Base de dados
Exposición a radón residencial y cáncer de pulmón en nunca fumadores. Resultados preliminares de estudio LCRINS	Ruano-Ravina A. et al. (2012)	Espanha	Tendência dos casos expostos ao radônio residencial terem diagnóstico de câncer de pulmão do tipo histológico de carcinoma de pequenas e grandes células.	Archivos de Bronconeumologia	Scopus
Residential radon and lung cancer incidence in a Danish cohort.	Bräuner EV, et al. (2012)	Dinamarca	Associação positiva entre o radônio residencial e o risco de câncer de pulmão.	Environmental Research	Medline
Lung cancer and indoor radon exposure in the north of Portugal - An ecological study	Veloso B, et al (2012).	Portugal	Elevado número de mortes por câncer de pulmão devido à exposição ao radônio em ambientes fechados.	Cancer Epidemiology	Scopus Medline
A case-referent study of lung cancer and incense smoke, smoking, and residential radon in Chinese men	Tse, LA, et al (2011).	China	Evidências preliminares sugerindo que a exposição ao radônio residencial pode aumentar o risco de câncer de pulmão entre os fumantes que utilizam incenso.	Environmental Health Perspectives	Scopus Medline
Modeling joint exposures and health outcomes for cumulative risk assessment: The case of radon and smoking	Chahine T, et al. (2011)	Estados Unidos	Viabilidade de triagem em nível de avaliação para caracterizar os padrões de risco de câncer de pulmão relacionado ao radônio.	International Journal of Environmental Research and Public Health	Scopus Medline
A multifactorial assessment of carcinogenic risks of radon for the population residing in a Russian radon hazard zone	Lezhnin VL, et al. (2011)	Rússia	Exposição ao radônio residencial é de 15 a 20 vezes mais fraca na taxa de risco de câncer de pulmão quando comparada aos efeitos do tabagismo, doenças ocupacionais e pulmonares crônicas.	Archive of Oncology	Scopus

Radon and lung cancer in the American Cancer Society Cohort	Turner MC, et al. (2011)	Estados Unidos	Associações positivas entre os indicadores ecológicos de radônio residencial e câncer de pulmão.	Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention	Scopus Medline
Indoor ²²² Rn concentrations and the corresponding lung cancer risk in Celein region, west of Al Khums, Libya	Al-Bosta, MM, Al-Radaideh J, Ismail AM. (2010)	Líbia	O risco de pessoas exposta ao radônio residencial variou de 4 a 32 por mil habitantes para os não fumantes e fumantes, respectivamente.	Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	Scopus
Assessment of lung cancer risk using weighted average indoor radon levels in six districts of the punjab province in Pakistan	Faheem M, et al. (2010)	Pakistão	Risco de câncer de pulmão associado à exposição de radônio em abientes fechados.	Indoor and Built Environment	Scopus
Lung cancer deaths from indoor radon and the cost effectiveness and potential of policies to reduce them.	Gray A, et al. (2009)	Reino Unido	Mortes por câncer de Pulmão relacionado ao radônio interior e intervenções no controle de radônio.	British Medical Journal	Scopus Medline
Comparative risk assessment of residential radon exposures in two radon-prone areas, Stei (Romania) and Torrelodones (Spain).	Sainz C, et al. (2009)	Romênia e Espanha	Evidência significativa de risco elevado ao câncer de pulmão associado com a exposição acumulada ao radônio.	Science of The Total Environment	Medline
Assessment of the effectiveness of radon screening programs in reducing lung cancer mortality	Gagnon F, et al. (2008)	Canadá	Cerca de 10% das mortes de câncer de pulmão são atribuídas à exposição ao radônio residencial.	Risk Analysis	Scopus Medline
Case-control study of radon and lung cancer in New Jersey	Wilcox, HB, et al. (2008)	Estados Unidos	Não ha aumento significativos de riscos de câncer de pulmão com aumento dos níveis de concentração de radônio residencial.	Radiation Protection Dosimetry	Scopus Medline
Enhancement of radon exposure in smoking areas	Abdel Ghany, HA. (2007)	Egito	Efeito duplo (químico e radioativo) do tabagismo como fator de risco para o câncer de pulmão.	Environmental Geochemistry and Health	Scopus

Examining the relationship between lung cancer and radon in small areas across Scotland	Pearce J, Boyle P. (2005)	Escócia	População com mais de 54 anos de idade não houve relação significativa entre a incidência de câncer de pulmão, entretanto, para indivíduos com idade inferior a 55 as taxas de câncer relacionado ao radônio residencial foram significativamente maiores em locais com altos níveis de radônio	Health and Place	Scopus Medline
Residential radon exposure, diet and lung cancer: A case-control study in a Mediterranean region	Bohicchio, F, et al. (2005)	Itália	Associação não estatisticamente significativa entre o radônio residencial e o câncer de pulmão.	International Journal of Cancer	Scopus Medline
Lung cancer risk due to radon exposure for 10 or 20 years	Chen J. (2005)	Estados Unidos	Demonstra o risco de desenvolver câncer de pulmão de acordo com a duração e concentração da exposição ao radônio residencial.	International Congress Series	Scopus
Indoor radon and lung cancer in France	Baysson H, et al. (2004)	França	Presença de um risco de câncer do pulmão associado com a exposição ao radônio em ambientes fechados com o ajuste preciso de fumar.	Epidemiology	Scopus Medline
Residential radon and risk of lung cancer in Eastern Germany.	Kreuzer M, et al. (2003)	Alemanha	Pequeno aumento do risco de câncer de pulmão associado ao radônio residencial.	Epidemiology	Medline
Preliminary indoor radon risk assessment at the Poços de Caldas Plateau, MG-Brazil.	Veiga LH, et al (2003).	Brasil	Um total de 16% de todas as causas de mortes por câncer de pulmão em Poços de Caldas pode ser atribuído à exposição ao radônio.	Journal of Environmental Radioactivity	Medline

V.1 Características presentes em ambientes fechados que estão associadas a um maior grau de exposição ao radônio

O grau de concentração de radônio nas residências está relacionado à presença de algumas características relacionadas à construção das casas e aos hábitos dos moradores. A maior parte dos estudos utilizam o modelo proposto por Andersen et al. (2007) para avaliar os níveis desse radioisótopo nas residências. Esse modelo usa nove variáveis incluindo: localização geográfica, tipo de solo e características da habitação tais como tipo de material de construção e presença de porão.

No estudo de Vladimir, et. al. (2011) as residências foram categorizadas em quatro grupos que consideraram o tipo de material de construção usado, a presença ou ausência de porões e o uso de poços artesianos para uso doméstico. Já em estudo realizado na Alemanha Oriental houve uma preocupação em coletar informações referentes à história residencial como: tempo de moradia, hábitos de ventilação, tempo médio diário da permanência dos moradores na residência e nos principais cômodos como quarto e sala, além do tipo de piso do domicílio (Kreuzer, et al., 2003).

Uma característica comum investigada nos estudos foi à presença de porões que, de acordo com os autores, aumentam a exposição residencial ao radônio. Os resultados encontrados por Kreuzer, et al., (2003) apontaram concentrações médias de radônio mais altas em casas com quartos em porão ou no piso térreo ou com porão mal isolado. Para esse mesmo estudo foram encontradas altas concentrações do radioisótopo em residências localizadas em zonas rurais (Kreuzer, et al., 2003).

Um estudo realizado no Planalto de Poços de Caldas, na região sudoeste do Brasil, teve como objetivo apresentar uma estimativa do excesso de risco de câncer de pulmão que poderia ser atribuído à exposição ao radônio durante a vida. Para avaliar a concentração média de radônio residencial nessa região, 68 casas na área urbana e mais 19 na área rural foram selecionadas. Usando a mesma metodologia de estudos anteriores, dois dosímetros foram colocados, sendo um no quarto e outro na sala de estar por um período de três meses. A concentração média encontrada nas casas da área rural foi superior a das casas da área urbana, $220 \pm 2,9$ Bqm/m³ e $61 \pm 2,4$ Bq/m³ (t-teste, $p=0,05$), respectivamente. Na área urbana 90 % das medições estavam abaixo de 200

Bq/m³, enquanto que na área rural 50% das casas tinham concentrações superiores a este valor. Se fosse levado em conta o nível de ação proposto pela EPA de 148 Bq/m³ (1987), 60% e 14 % das medições em áreas rurais e urbana, respectivamente, excedia este nível de ação. Os pesquisadores também estimaram a concentração média em toda a região que correspondeu a 96 Bq/m³ a partir das médias encontradas nas áreas urbana e rural. Isto resulta em uma exposição média de descendente de radônio interior aproximadamente igual a 0,41 WLM (*Working Level Month*), o que representa uma exposição cumulativa de 29 WLM. Considerando a exposição cumulativa para a população de referencia como 12 WLM, a exposição adicional cumulativo para a população dessa região pode ser estimada em 17 WLM. Além disso, quando se aplicou o modelo de risco estimou um risco relativo de vida de 1,20, representado um aumento de 20% no risco de vida de mortalidade por câncer de pulmão para indivíduos que vivem na região do Planalto de Poços de Caldas. Estes altos valores encontrado na área rural dessa região podem ser atribuíveis a combinação de formação geológicas local, materiais de construção utilizados nas casas e ventilação em algumas casas.

Na grande maioria dos estudos, o local preferencial de escolha para as medições de radônio foram à sala e o quarto, por considerar que esses são os cômodos da casa onde as pessoas passam a maior parte do tempo. No estudo realizado por Kreuzer, et al. (2003) foi encontrado que casos e controles gastam em média 7,7 horas no quarto e 6,0 horas na sala de estar, em um dia. Esse mesmo estudo encontrou que levando em conta as férias e outros períodos de ausência da casa, os participantes gastam em média 53% do seu tempo em casa, o que reflete a importância de se mensurar a concentração de radônio em residências e a sua associação com o câncer de pulmão.

Com o objetivo de avaliar o risco de câncer de pulmão relacionado à exposição do radônio, foi realizada uma pesquisa na Líbia em 2009 levando em consideração a concentração deste radioisótopo em 50 casas espalhadas pela região de Celein. Foram colocados dois dosímetros em cada habitação, sendo um na sala e outro no quarto, por um período de 03 meses. Evidenciou-se uma média aritmética de concentração de 76,1 Bq/m³ com desvio padrão de 49,4 Bq/m³. Sendo que a concentração nas salas foi superior ($80,3 \pm 54,1$ Bq/m³) comparada com a dos quartos ($72,2 \pm 45,0$ Bq/m³). A partir dessas concentrações, foi calculado uma média anual para os adultos que correspondeu a 4,6 mS/v por ano, enquanto as crianças pode receber 7,0 mS/v por ano.

Além disso, através de modelos estatísticos foi calculado o risco de desenvolver câncer de pulmão com a exposição média de radônio, levando em consideração uma média de tempo gasto em cada cômodo da casa e o hábito de fumar. Concluiu-se que o risco de desenvolver o câncer de pulmão com a exposição ao radônio em fumantes é de 32 por 1000 habitantes e não fumantes de 4 por 1000 habitantes (Al Bosta et.al, 2010).

Um estudo dinamarquês buscou evidenciar a diferença entre os níveis de radônio em residências isoladas ou próximas uma das outras, como por exemplo, os apartamentos de um edifício. Os dados mostraram que de um total de 11.576 residências com níveis de radônio acima de 66,1 Bq/m³, 9.649 eram casas isoladas, correspondendo a 83,4% (Bräuner et. al., 2012). Avaliando a razão de taxa de incidência (RTI) de câncer de pulmão associadas a concentração de radônio nesses tipos de residência, os autores encontraram maiores valores entre aqueles que vivem em casas isoladas. Para todos os participantes, a RTI encontrada foi de 1,04 (IC 95% : 0,69-1,56) para cada aumento de 100 Bq/m³ na concentração do radônio, já para os participantes residentes em casas isoladas a RTI foi de 1,14 (IC 95% : 0,69-1,90). Entre não fumantes, a RTI encontrada foi de 1,67 (IC 95% : 0,69-4,04) para todos os tipos de residência, diferente da TIR de 1,71 (IC 95% : 0,60-4,92) encontrada para residências isoladas (Bräuner et. al., 2012).

O estudo de Bräuner et. al.(2012) buscou ainda avaliar o nível de poluição do ar através da mensuração da concentração de óxido de nitrogênio presente na entrada das residências. O óxido de nitrogênio atua indicando a quantidade de partículas sólidas nas proximidades das casas. Segundo os autores, pesquisas anteriores mostraram que essas partículas sólidas podem penetrar nas residências contribuindo significativamente para o aumento da concentração de radônio. Os produtos do decaimento do radônio podem facilmente se anexar a essas partículas presentes no ar, aumentando inclusive o padrão de deposição desse radioisótopo no parênquima pulmonar. Para esse estudo, no entanto, não foi encontrada uma associação entre os níveis de radônio residencial e a poluição do ar próximo das residências, sendo necessárias mais pesquisas para elucidar tal interação (Bräuner et. al., 2012).

Segundo Wilcox (2008), de forma geral, existem alguns fatores que podem interferir na mensuração correta dos níveis de radônio nas residências dos sujeitos dos

diversos estudos podendo introduzir erros de classificação de exposição. Alterações nas casas aos longos dos anos devido ao envelhecimento estrutural e a mudança dos participantes de residências pode introduzir viés na avaliação do grau de exposição ao radônio, fatores que merecem ser considerados. Além disso, a variação anual da concentração de radônio associadas a questões relacionadas à temperatura pode contribuir para erros na estimativa de exposição ao radônio residencial (Wilcox, 2008)

V.2 Relação entre características sócio-demográficas e os efeitos das concentrações de radônio em ambientes fechados

Analisando a relação entre os efeitos das altas concentrações de radônio em ambientes fechados e a idade e o sexo, não foi possível encontrar uma concordância entre os estudos selecionados. Em uma pesquisa realizada no noroeste da Espanha com indivíduos não fumantes e com câncer de pulmão, foi encontrado que indivíduos expostos a alta concentração de radônio tiveram o diagnóstico de câncer de pulmão numa idade mais tardia (mediana de 71 anos e média de 68,6). Para o autor desse estudo, uma possível explicação para este fato está na necessidade de maior período de indução a este radioisótopo para que seja produzido efeito cancerígeno no ser humano. Com relação ao sexo, não houve diferença significativa na concentração residencial de radônio entre homens e mulheres com câncer (Ruano-Ravina et al., 2012).

Procurando investigar os efeitos da exposição ao radônio em períodos curtos, como 10 a 20 anos, nos Estados Unidos foi realizado um estudo baseado nos modelos de risco de exposição aos descendentes do radônio definido pelo relatório do 6º Comitê de estudo dos Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante (BEIR VI). Nessa pesquisa verificou-se que indivíduos com idade média de 30 a 50 anos tem maior risco de desenvolver câncer de pulmão quando exposto ao gás radônio por vários anos. Sendo assim, indivíduos poderiam reduzir este risco de forma significativa, quando reduzissem os níveis de radônio precocemente na vida. (Chen, J.,2005).

A maior parte dos estudos faz referencia 6º Comitê de estudo dos Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante (*Biological Effects of Ionizing Radiation- BEIR VI*) para estimar o risco de desenvolver câncer de pulmão devido à exposição ao radônio. A BEIR VI usa modelos de avaliação do incremento do risco de câncer de pulmão em

mineiros associado à exposição ao radônio, para projetar o incremento das taxas de risco de câncer de pulmão na população em geral, em função do mesmo tipo de exposição (Brito; Rêgo, 2012).

Em pesquisa realizada na Escócia com dados do período de 1988-1991, Pearce e Boyle (2005), analisaram a relação entre a distribuição de ocorrência natural de gás radônio e a incidência de câncer de pulmão. Controlando as variáveis como hábito de fumar, sexo, faixa etária e densidade populacional, descobriram que para a população com mais de 54 anos não houve relação significativa entre a exposição ao radônio e o aparecimento de câncer de pulmão. Entretanto, para indivíduos com idade inferior a 55 anos, as taxas de câncer de pulmão foram expressivamente significantes em locais que tinham altos níveis deste radioisótopo. Segundos os autores, esses dados corroboram com o estudo de Leenhouts (1999), que sugere que a exposição ao radônio induz o câncer de pulmão em cerca de dez vezes em pessoas com idade de 15 anos, quando comparada a indivíduos acima de 50 anos.

Em um estudo de coorte realizado na Dinamarca, os sujeitos do estudo foram recrutados entre os anos de 1993 a 1997 sendo acompanhados até 2006. No período de recrutamento os participantes não apresentavam diagnóstico de câncer de pulmão e tinham idade entre 50 a 64 anos. Para este estudo houve 589 casos câncer de pulmão, correspondendo a uma taxa de incidência global de 116 por 100.000 pessoas por ano. Fazendo a comparação entre o grupo que apresentou câncer de pulmão e os outros membros da coorte, não houve associação entre o radônio e risco de câncer de pulmão para ambos sexos. Para os homens foi encontrada uma TIR de 1,01 (IC 95%: 0,62-1,64) e para as mulheres 1,06 (IC 95%:0,64-1,77) para cada aumento de 100 Bq/m³ (Bräuner E.V. et al.,2012).

Alguns estudos sugerem que a exposição residencial ao radônio pode ser maior entre as mulheres, por estas ficarem mais tempo nas residências em comparação aos homens. Em um estudo de caso controle realizado em Nova Jersey foi encontrado para o grupo de casos um maior nível de exposição ao radônio entre as mulheres (50,7 Bq/m³) em comparação aos homens (41,9 Bq/m³). Para esse mesmo estudo, não houve diferença significativa de exposição entre os controles, mulheres apresentaram nível de exposição de 45,8 Bq/m³ e homens de 46,8 Bq/ m³ (Wilcox, 2008).

Analisando ainda o risco de câncer de pulmão associado a fatores demográficos e a concentração de radônio, Wilcox (2008) não encontrou diferenças significativas entre as idades e o nível educacional tanto para o grupo de casos quanto para o grupo de controles. No geral, o estudo não identificou aumento significativo dos riscos de câncer de pulmão com o aumento dos níveis de radônio em residências (Wilcox, 2008).

Além das variáveis sexo e idade, um estudo realizado nos Estados Unidos analisou a influência da raça e das condições sócio-econômicas na exposição a maiores concentrações de radônio em residências. Associando as características sócias demográficas com os tipos de residências que apresentam maior ou menor capacidade de concentração de radônio, Chahine (2011) encontrou em seu estudo que pessoas da raça branca e que vivem acima do limiar da pobreza apresentaram maior probabilidade de viverem em casas isoladas com a presença de porões. Já pessoas da raça negra e abaixo do limiar da pobreza apresentaram menor probabilidade de viver nesses tipos de residências tendo, portanto menor propensão a exposição a altas concentrações de radônio.

V.3 Tipos histológicos de câncer de pulmão mais freqüente associado à exposição do radônio em ambientes fechados

Fazendo uma comparação entre os estudos no que se refere aos tipos histológicos mais comuns de câncer de pulmão que estão associados à alta exposição residencial de radônio, verificou-se que eles trazem resultados semelhantes.

Em estudo realizado na Espanha com 69 pacientes com câncer de pulmão, os autores encontraram concentrações mais baixas de radônio nas casas de pacientes com tipo histológico adenocarcinoma (56 casos com a mediana de exposição de 200 Bq/m³) e mais elevadas para os tipos de carcinoma de pequenas (2 casos com exposição de 516-751 Bq/m³) e grandes células (4 casos, com mediana de exposição de 381 Bq/m³). Os autores relatam que embora tenham sido encontrados poucos casos de câncer para esses dois últimos tipos histológico, o radônio pode ser considerado um fator de risco para câncer de pulmão de forma geral, porém com maior influência sobre o câncer de pequenas células e em segundo lugar o câncer de grandes células (Ruano-Ravina, et al., 2012).

O estudo realizado por Kreuzer et al. (2003) apresentou resultados semelhantes ao anterior. Foram encontradas estimativas de risco relativo (ERR) maiores para o câncer de pequenas células (ERR de 0,23; IC 0,02-0,47), seguido pelo carcinoma de células escamosas (ERR de 0,05; IC 0,14-0,27), porém não sendo encontrada nenhuma associação para o adenocarcinoma (ERR de 0,02; IC 0,23-0,22).

O estudo realizado em Nova Jersey calculou o OR (Odds Ratio) para os diferentes tipos histológicos de câncer de pulmão por nível de concentração de radônio em homens e mulheres. No grupo de participantes do sexo masculino o aumento dos níveis de radônio apresentou efeitos mais fortes para o carcinoma de pequenas células seguido do carcinoma de células escamosas. Resultados similares foram observados em mulheres. Por exemplo, em homens com câncer de pequenas células e expostos a 25-49 Bq/m³ foi encontrado um OR de 1,04, quando a exposição aumentou para 100-149 Bq/m³ o valor de OR subiu para 3,05. Já os homens com adenocarcinoma expostos a 25-49 Bq/m³ foi encontrado um OR de 0,89, quando a exposição aumentou para 100-149 Bq/m³ o valor de OR foi para 0,83.

O carcinoma de pulmão de pequenas células representa 15% a 20% de todos os cânceres de pulmão. Caracteriza-se pelo crescimento tumoral rápido, uma disseminação metastática precoce e uma boa resposta a quimioterapia. Apesar da relativa radio e quimiosensibilidade, da alta taxa de resposta e do prolongamento significativo em conjugação com a melhoria da qualidade de vida, as longas sobrevivências e a cura são muito raras. Para doença disseminada em tratamento a sobrevivência mediana situa-se entre 6 a 12 meses, com a taxa de sobrevivência aos 5 anos de 1 a 2% (Barata; Costa, 2007). Por conta dessa pequena sobrevida Kreuzer et al., (2003) trás que a avaliação da influência do radônio no desenvolvimento do câncer de pulmão pode ficar prejudicada.

V.4 Efeito combinado da exposição ao radônio com os principais fatores de risco associados ao câncer de pulmão

Segundo Vladimir, et. al. (2011) o câncer de pulmão, tal como a maioria dos outros tumores, pertencem ao grupo de doenças induzidas por uma combinação de vários fatores de risco: médico-biológico, ocupacional, social, ambiental e outros. Os autores realizaram estudo coorte em Lermontov cidade pertencente à Federação Rússia,

caracterizada por apresentar alta concentração de gás radônio no solo de áreas residenciais. A cidade apresentou no passado, em sua vizinhança, uma empresa mineradora que, com o fechamento, deixou dejetos e depósitos de rochas radioativas, que contribuíram para presença do radioisótopo. Além disso, uma parte significativa da população trabalhou nessa mineradora (Vladimir et al., 2011). Os 330 participantes da pesquisa, divididos em casos e controles, foram caracterizados por um conjunto de 23 índices refletindo os fatores de riscos conhecidos para o câncer de pulmão. Para esse estudo, a contribuição da exposição ao radônio em ambientes internos foi apenas de 2%, comparada a 15% de exposição ocupacional a este radioisótopo. Isso correspondeu a um risco de desenvolver câncer de pulmão de 15-20 vezes mais fraco do que os efeitos dos principais fatores de risco encontrados: tabagismo, idade, exposição ocupacional e doenças pulmonares crônicas. Apesar desse resultado, é importante ressaltar que foi encontrada uma correlação direta entre o risco de câncer de pulmão e o nível de exposição ao radônio tanto ocupacional quanto não ocupacional (Vladimir, et al., 2011).

O estudo de Vladimir et al.(2011) também se preocupou em realizar análise dos dados seguindo a metodologia de avaliação de risco como modelo multiplicativo de aplicação do risco de radiação de BEIR VI. Os resultados obtidos com esse método mostraram que a contribuição da exposição ambiental ao risco de câncer de pulmão entre a população da cidade Lermontov foi de 30%, e, assim, a exposição ao radônio poderia ser considerada um dos principais fatores de risco para o câncer de pulmão entre os moradores da cidade (Vladimir, et al., 2011).

O estudo mostra que em locais onde existe uma baixa concentração de radônio há pouca contribuição desse gás no desenvolvimento do câncer quando comparado com outros fatores de riscos, entretanto, a sua participação aumenta com o aumento da concentração do radônio (Vladimir. et al., 2011).

Um estudo de base populacional realizado na China encontrou evidências que sugerem que a exposição ao radônio pode aumentar o risco de desenvolver câncer de pulmão quando associado ao tabagismo e exposição a fumaças de incenso. Assim, pode-se concluir que a exposição ao radônio em residências pode ter efeito sinérgico quando outros fatores de risco associados ao câncer de pulmão estão presentes, aumentando o risco de aparecimento da doença (Tse, L.A. et al, 2011).

Associando a concentração residencial ao radônio com o hábito de fumar e a exposição ao amianto (outro fator de risco para o câncer de pulmão), Kreuzer M et al. (2003) encontrou em seu estudo OR de 0,95 (IC 0,77-1,18), 1,13 (IC 0,86-1,50) e 1,30 (IC 0,88-1,93) para concentrações de radônio de 50-80 Bq/m³, 80-140 Bq/m³ e mais de 140 Bq/m³ respectivamente em comparação a categoria de referência de 0-50 Bq/m³. Além disso, encontrou um ERR (excesso de risco relativo) de 0,08 (IC 0,03-0,20) para um aumento de 100 Bq/m³ na concentração radônio. Esse resultado evidencia ainda mais o efeito combinado da exposição do radônio com outros fatores de risco para o câncer de pulmão.

Além de avaliar o efeito sinérgico, houve uma preocupação da maioria dos estudos em coletar informações referentes ao estilo de vida e principalmente ao hábito de fumar a fim de controlar as variáveis de confundimento durante a mensuração do risco de câncer de pulmão associado ao radônio. Kreuzer M et al. (2003), por exemplo, documentou em seu estudo informações referentes ao hábito de fumar, os hábitos alimentares e história pessoal familiar e médica dos participantes. Já Ruano-Ravina, et al., (2012) coletou ainda informações referentes as atividades de lazer como modelagem e pintura que de alguma forma podem atuar como fatores de risco para o câncer de pulmão.

Em estudo realizado na Dinamarca, foi encontrado um risco ligeiramente mais aumentado para o câncer de pulmão entre os não fumantes em associação com o radônio residencial com evidência de um padrão de dose resposta. Foi encontrado entre os não fumantes uma RTI de 1,67 (IC 95% : 0,69-4,04) para o cada aumento de 100 Bq/m³ de radônio, já para os fumantes foi encontrado uma TIR de 0,92 (IC 95%: 0,58-1,46). Esse resultado está de acordo com os valores encontrados em outros estudos que relatam maiores odds ratio entre os não fumantes em relação aos fumantes (Bräuner. et al.,2012).

Além de está presente no ar, o radônio pode ser encontrado ainda na composição do tabaco. Investigando a presença desse radioisótopo em dez amostras diferentes de cigarro, Abdel Ghany, HA. (2007) encontrou em seu estudo concentrações de radônio que variaram de 128-266 Bq/m³. Segundo o autor, essa alta quantidade de radônio pode ser atribuída à fuga desse elemento a partir do solo, além do uso do minério de fosfato

(solos ricos em fosfato geralmente tem altas concentrações de urânio) na fabricação de fertilizantes que são utilizados nas plantações de tabaco. Sendo assim, pode-se inferir que o uso do cigarro pode apresentar efeito duplo (químico e radioativo) no risco de desenvolver câncer de pulmão. Nesse estudo foi realizada ainda a medição e comparação das concentrações de radônio em residências e cafeterias onde é comum o hábito de fumar.

Foi encontrada uma concentração média nas residências de 52,3 com desvio padrão de 3,27 enquanto que nas cafeterias foram encontrados uma concentração média de 105,76 com desvio padrão de 6,61. É provável que o ar rico em tabaco das cafeterias aumente a presença do radônio em comparação com os outros ambientes livres de tabaco.

V.5 Mortalidade por câncer de pulmão associada à exposição residencial ao radônio

Um estudo realizado nos Estados Unidos mostrou uma associação positiva entre a exposição residencial ao radônio e a mortalidade por câncer de pulmão. Participantes do estudo que estavam submetidos a concentrações médias de radônio acima do valor de referência estabelecido pela EPA (148 Bq/m³) apresentaram um aumento de risco de 34% de mortalidade por câncer de pulmão. Ademais, foi encontrado Razão de Risco de 1,15 (IC 95%; 1,01-1,31) para a mortalidade de câncer de pulmão a cada aumento de 100 Bq/m³.(Turner, M.C. et al, 2011).

Em um estudo ecológico realizado em Portugal entre os anos 1995 a 2004 foi estimado o risco de desenvolver câncer de pulmão devido à exposição ao radônio em ambientes fechado, assim como o número de mortes por câncer atribuídas a exposição a este radioisótopo. Para isso foram usados dois modelos de risco propostos pela BEIR VI. Ambos os modelos levam em conta a idade atingida e o tempo de exposição, diferindo na terceira variável. Se considerado o tempo de exposição o modelo é designado de Exposição-Idade-Duração (EAD), e se considerado o nível de concentração o modelo é designado de Exposição-Idade-Concentração (EAC). O hábito de fumar foi levado em conta, considerando dois diferentes métodos de cálculo. O primeiro método foi baseado na idéia de que a principal causa de morte por câncer de pulmão é o tabagismo. Além da exposição ao radônio, a maioria das mortes por câncer de pulmão é provavelmente atribuível ao consumo de tabaco, alguns devido ao radônio individualmente, outros, devido à interação entre radônio e tabaco, e outros, devido a diversos fatores, como a poluição atmosférica ou exposição ocupacional que não ao

radônio. O segundo método é baseado no fato de que a maioria das mortes por câncer de pulmão ocorre entre os fumantes e diferencia a mortalidade por câncer de pulmão atribuível ao radônio entre fumantes e não-fumantes. Dependendo do modelo aplicado e do método usado para contabilizar o hábito de fumar, o número estimado de morte por câncer de pulmão atribuído a exposição ao radônio residencial variou de 1565 a 2406. Isso indica que das 8.514 mortes por câncer de pulmão observadas, 18 a 28% pode ser associada com a exposição ao radônio residencial (Velo, et al.,2012).

Utilizando o modelo de risco proposto pelo BEIR VI, Gagnon, F. et al (2008) encontrou que 10,5% das mortes por câncer de pulmão em Quebec (Canadá) são atribuíveis a exposição ao radônio residencial, sendo 430 mortes de um total de 4.104 mortes por câncer de pulmão em 1998. Dessas 430 mortes, 71 (16,5%) ocorreu após exposição igual ou superior a 150 Bq/m³. Além disso, estimou que 60 % das mortes relacionadas com o radônio envolviam fumantes em comparação com 30% em ex-fumantes e 10% em não fumantes.

Um estudo realizado no Reino Unido foi descoberto uma concentração média de radônio em residência de 21 Bq/m³. A partir daí foi encontrando que 3, 3% das mortes ocorrida em 2006 por câncer de pulmão é provocada por exposição residencial ao radônio. No geral, 48% das mortes relacionada a este radioisótopo aconteceu em adultos com idades entre 55-74 anos, e apenas 6% em menores de 54 anos, e nenhuma morte em menores de 35 anos (Gray. et al. 2009).

A pesquisa realizada por Gray. et al. (2009) teve uma abordagem diferentes dos outros estudos. Estes autores estimam que 91% das casas do Reino Unido têm concentrações de radônio inferior a 50 Bq/m³ (média 16 Bq/m³), 6% entre 50-99 Bq/m³ (média 68 Bq/m³), 2% entre 100-199 Bq/m³ (média 133 Bq/m³) e somente 0,4% acima de 200 Bq/m³ (média 304 Bq/m³). Embora as pessoas que vivem em casas com altas concentrações de radônio tenham risco maior de morrer por câncer de pulmão quando comparada as que vivem em casas com concentrações mais baixas, proporcionalmente existe um menor número de pessoas expostas a maiores concentrações de radônio. Isso resulta em percentagem estimada de morte de indivíduos em casas com medidas acima de 200 Bq/m³ correspondente apenas a 4%, já com medidas entre 100-199 Bq/m³ correspondente a 9%, com medida de 50-100 Bq/m³ correspondente a 17%, e com

medições abaixo de 50 Bq/m³ com 70% das mortes, já que há mais pessoas expostas a esse último valor de concentração de radônio.

VI. CONCLUSÃO

Os estudos sugerem que a exposição residencial ao radônio aumenta o risco de desenvolver do câncer de pulmão, principalmente quando outros fatores de risco estão associados. O hábito de fumar, aliado a exposição a altas concentrações de radônio pode induzir um risco ainda maior de câncer de pulmão.

Baixas concentrações de radônio podem ter pequeno efeito sobre o risco de desenvolvimento de câncer de pulmão, porém o aumento da concentração desse gás pode trazer consequência importante sobre a incidência desse câncer. De forma geral, os dados evidenciados mostram que a exposição residencial ao radônio é provavelmente a segunda causa de câncer de pulmão, perdendo apenas para o tabagismo.

Com relação ao tipo histológico, os estudos mostraram que a exposição ao radônio está associada ao aparecimento do câncer de pequenas células, que embora não seja o mais prevalente apresenta um alto grau de letalidade, o que faz com que o radônio tenha uma significativa importância na mortalidade por câncer de pulmão.

Os estudos sugerem que os esforços para prevenir o câncer de pulmão na comunidade associados ao radônio deve incluir a redução ou minimização da exposição a poluentes do ar nos interiores. Além disso, deve incluir modificações nos hábitos dos moradores e das características das residências.

Através dessa revisão de literatura pode-se perceber que no Brasil, há ainda a necessidade de estudos que quantifiquem a concentração de radônio em residências a fim de avaliar sua contribuição no aparecimento de casos de câncer de pulmão.

Embora os riscos a saúde decorrente das altas exposições de radônio em minas subterrâneas ser conhecido há muito tempo, relativamente pouca atenção tem sido dada a exposição residencial ao radônio. É necessário, portanto, aumentar a conscientização sobre a importância potencial desse gás no desenvolvimento de câncer de pulmão tanto em fumantes quanto em não fumantes, desenvolvendo medidas preventivas eficazes para reduzir a concentração de radônio em residências.

VII. SUMMARY

OLIVEIRA, WHA. RADON EXPOSURE IN RESIDENTIAL ENVIRONMENT AND LUNG CANCER: A REVIEW OF THE LITERATURE.

The high concentration of radon in closed environments increases the exposure of the population to the harmful effects of the gas, a proven carcinogen. **OBJECTIVE:** To review the literature, in order to examine the relationship between exposure to radon in indoor environments and the development of lung cancer. **METHODS:** A literature review was performed in the databases PubMed / MEDLINE and Scopus, using the descriptors "Radon", "lung cancer", "indoor" and "residential". The interpretation of the materials was based on the principles of thematic analysis. **RESULTS:** A total of 16 Scopus articles and 13 PubMed / MEDLINE articles were selected, of which, 9 articles were common to both databases, adding a total of 20 articles. **CONCLUSION:** The residential exposure to radon increases the risk of developing lung cancer, especially when other risk factors are associated. The concentration of radon in houses is related to the presence of some features related to the construction of the building. Furthermore, exposure to radon is associated with the onset of small cell cancer. In Brazil, there is still a need for studies that quantify the concentration of radon in houses.

Keywords: 1.Radon 2. Lung-Cancer; 3. Environmental diseases

VIII. REFERÊNCIA:

1. American Cancer Society – ACS. Learn About Cancer: Find Information and resources for a specific cancer topic, 2012. Disponível em: <www.cancer.org/CancerCauses/OtherCarcinogens/Pollution/radon>. Acesso em 20/01/2013.
2. Al-Bosta MM, Al-Radaideh MJ, Ismail A. Indoor ^{222}Rn concentrations and the corresponding lung cancer risk in Celein region, west of Al Khums, Libya. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, v. 285, n. 3, p. 641-5, Set 2010.
3. Almeida ML. Como elaborar monografias. 3. ed. Belém: Cejup, 1992, 224p.
4. Al-Mosa TMA. Indoor Radon Concentration In Kindergartebts, Play- And Elementary Schools In Zulfi City (Sudi Arabia) (2007). Disponível em <www.faculty.ksu.edu.sa/23499/.../Zulfi%Thesis.pdf>. Acesso em 20/01/2013
5. Andersen CE., Raaschou-Nielsen, O, Andersen HP, Lind, M, Gravesen P, Thomsen BL, Ulbak K. Prediction of ^{222}Rn in Danish dwellings using geology and house construction information from central databases. *Radiat. Prot. Dosim.* 123, 83–94. Set 2007.
6. Argonne National Laboratory - ANL. Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas; Human Health Fact Sheet: Uranium, 2005. Disponível em: <www.ead.anl.gov/pub/doc/ANL_ContaminantFactSheets_All_070418.pdf. 2005>. Acesso em: 20/01/2013
7. Baysson H, Tirmarche M, Tymen G, Gouva S, Caillaud D, Artus JC et al. Indoor radon and lung cancer in France. *Epidemiology*. v.15, n.6, p. 709-16, Nov 2004.
8. Bochicchio, F, Forastiere, F, Farchi S, Quarto, MAO. Residential radon exposure, diet and lung cancer: A case-control study in a Mediterranean region. *International Journal of Cancer*. v.114, n.6, p.983-91, May 2005.
9. Bräuner EV, Andersen CE, Sorensen M, Andersen ZJ, Gravesen P, Ulbak K, et al. Residential radon and lung cancer incidence in a Danish cohort . *Environmental Research*. v. 118, p. 130-6, Oct 2012.
10. Chahine T, Schultz BD, Zartarian VG, Xue J, Subramanian, S.V, Levy JL. Modeling Joint Exposures and Health Outcomes for Cumulative Risk Assessment: The Case of Radon and Smoking. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. v. 9, n. 8, p. 3688-711, 2011.
11. Chen J. Lung cancer risk due to radon exposure for 10 or 20 years. *International Congress Series*. v. 1276, p. 442–3, Feb 2005.

12. Faheem M , Rahman SU ,Nasir, T, Rahman S. Assessment of Lung Cancer Risk Using Weighted Average Indoor Radon Levels in Six Districts of the Punjab Province in Pakistan. *Indoor and Built Environment*. v. 19, n. 3, p.382-90, Jun 2010.
13. Gagnon F, Courchesne M, Lévesque B, Ayotte P, Leclerc JM, Belles-Isles JC, et al. Assessment of the effectiveness of radon screening programs in reducing lung cancer mortality. *Risk Analysis*. v.28, n. 5, p. 1221-9, Out 2008.
14. Geraldo LP, Santos V, Marques AL, Botari A. Medidas dos níveis de radônio em diferentes tipos de ambientes internos na região da Baixada Santista-SP. *Radiol Bras*.v.38, n 4, p.283-6, 2005.
15. Ghany HAA. Enhancement of radon exposure in smoking areas. *Environmental Geochemistry and Health*. v. 29, n. 3, p.249-55, Jun 2007.
16. Gray A, Read S, Mcgale P, Darby S. Lung cancer deaths from indoor radon and the cost effectiveness and potential of policies to reduce them. *BMJ.*, v. 3110, n. 338, p. 215, Jan 2009.
17. Kreuzer M, Heinrich J, Wölke G, Schaffrath RA, Gerken M, Wellmann J. et al. Residential radon and risk of lung cancer in Eastern Germany. *Epidemiology*. v. 14, n. 5, p.559-68, Sep 2003.
18. Lezhnin VL, Polzik EV, Kazantsev VS, Zhukovsky MV, Pakholkina O. Multifactorial assessment of carcinogenic risks of radon for the population residing in a Russian radon hazard zone. *Arch Oncol* v. 19, n. 1, Jul 2011.
19. Magalhães MH; Amaral ECS, Sachett I, Rochedo ERR. Radon-222 in Brazil: an outline of indoor and outdoor measurements. *J Environ Radioact*. v. 67, p.131-43, 2003.
20. Marconi MA, Lakatos EM. Técnicas de pesquisa. In:_____. Amostragens e técnicas de pesquisas; Elaboração, análise e interpretação de dados. 6 ed. São Paulo: Atlas. Cap 3, p.62-145, 2006.
21. Marques AL, Santos W, Geraldo LP. Direct measurements of radon activity in water from various natural sources using nuclear track detectors. *Appl Radiat Isot* v. 60, p. 801-4, 2004.
22. Minayo MCS. Fase de Análise ou Tratamento do Material. In_____. O Desafio do Conhecimento: Pesquisa Qualitativa em Saúde. São Paulo - Rio de Janeiro: Hucitec-Abrasco, p.197-247, 2004.
23. Parker L, Craft AW. Radon and childhood cancers. *Eur J Cancer*. v. 32 p. 201-4, 1996
24. Pearce J, Boyle P. Examining the relationship between lung cancer and radon in small areas across Scotland. *Health & Place*. v.11, n. 3, p.275-82, Sep 2005.
25. Ruano RA, Prini GL, Barros DJM, Abal AJ, Leiro FV; González SAI, et al. Exposición a radón residencial y cáncer de pulmón en nunca fumadores. Resultados

- preliminares del estudio LCRINS. Archivos de Bronconeumología. v.48, n.11, Nov 2012.
26. Sainz C, Dinu A, Dicu T, Szacsvai K, Cosma C, Quindós LS. Comparative risk assessment of residential radon exposures in two radon-prone areas, Stei (Romania) and Torrelodones (Spain). *Sci Total Environ.* v.470, n.15, p. 4452-60, Jul 2009.
 27. Salomon DV. Como fazer uma monografia. 9.ed. São Paulo: Martins Fontes, 1999.
 28. Secaf, Victoria. Artigo científico: do desafio a conquista. 3. ed. São Paulo: Green Forest do Brasil, 47 p., 2004.
 29. Taylor DM, Taylor SK. Environmental uranium and human health. *Rev Environ Health*, v. 12, n. 3, p. 147-57, Jul-Sep 1997.
 30. Tse LA, Yu IT, Qiu H, Au JS, Wang XR. A case-referent study of lung cancer and incense smoke, smoking, and residential radon in Chinese men. *Environ Health Perspect.* v. 119, n.11, p. 1641-6, Nov 2011.
 31. Turner MC, Krewski D, Chen Y, Pope CA, Gapstur S, Thun MJ. Radon and lung cancer in the American Cancer Society cohort. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* v. 20, n. 3, p. 438-48, 2011.
 32. Unsear. Organização das Nações Unidas. Comitê Científico sobre os Efeitos da Radiação Atômica. Fontes e efeitos da radiação ionizante: Relatório de 2000 da Assembleia Geral. v. 1. New York: United Nations, 2000.
 33. Veiga HSL, Koifman SVP, Melo I, Sachet ECS. Preliminary indoor radon risk assessment at the Poços de Caldas Plateau, MG – Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity.* v. 70, n.30, p. 161–76, 2003.
 34. Veloso B, Nogueira JR, Cardoso MF. Lung cancer and indoor radon exposure in the north of Portugal--an ecological study. *Cancer Epidemiol.* v.36, n.1, p. 26-32, 2012.
 35. Wilcox HB, Zoughool MAI, Garner MJ, Jiang H, Klotz JB, Krewski D. et. al. Case-control study of radon and lung cancer in New Jersey. *Journal of the ICRU.* May 2007.