

CIÊNCIAS

GÁS RADÔNIO: O PERIGO INVISÍVEL

Thamimiris El Hajj²⁰
Homero Delboni Jr.²¹

Quando o assunto é câncer de pulmão, o primeiro pensamento da maioria das pessoas é o cigarro. Quase ninguém pensaria que existe outra causa para esta doença, cientificamente comprovada, presente em diferentes concentrações em quase todas as residências do mundo, o gás radônio.

Este gás nobre natural (Figura 1), pertencente ao grupo 18 (8A) da tabela periódica, é incolor, inodoro e insípido (não tem gosto), ou seja, impossível de ser identificado sem equipamentos adequados. Além da difícil detecção devido à baixa reatividade, os efeitos à saúde proporcionados por este gás são sentidos apenas a longo prazo, portanto, a exposição a este gás não causa dores súbitas ou outros sintomas que levem à associação direta com o radônio, permitindo que a pessoa remedeie a situação de imediato.

COMO O GÁS RADÔNIO É FORMADO

As primeiras dúvidas que geralmente surgem após reconhecer que a exposição prolongada a este gás pode causar câncer de pulmão é “como ele é formado?” ou “de onde ele vem?”. Para responder estas dúvidas, primeiramente, deve-se conhecer um pouco sobre geologia, mais especificamente sobre a composição das rochas e dos solos que recobrem a superfície terrestre.



3A	4A	5A	6A	7A	8A
B	C	N	O	F	He
10.81	12.01	14.01	16.00	19.00	4.00
13	14	15	16	17	10
Al	Si	P	S	Cl	Ne
26.98	28.09	30.97	32.07	35.45	20.18
31	32	33	34	35	18
Ga	Ge	As	Se	Br	Ar
69.73	72.59	74.92	78.96	79.90	39.95
49	50	51	52	53	36
In	Sn	Sb	Te	I	Kr
114.8	112.47	113.8	117.6	126.9	83.8
81	82	83	84	85	54
Tl	Pb	Bi	Po	At	Xe
204.4	202.2	209.0	210.0	210.0	131.3
113	114	115	116	117	86
Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Rn
238.0	239.0	238.0	239.0	238.0	222.0

Figura 1: Trecho da tabela periódica

A crosta terrestre é composta majoritariamente por óxidos, assim, 47% dela é oxigênio. A Tabela 1 mostra as composições médias percentuais dos óxidos formadores da crosta terrestre calculadas por Frank Wigglesworth Clarke, geólogo nascido em 1847 nos Estados Unidos, conhecido como “pai da geoquímica”.

Ao observar a Tabela 1, é possível identificar que muitos dos materiais do dia-a-dia contêm elementos em sua formação que estão nesta lista de óxidos, como o alumínio e ferro, por exemplo. Porém, outros, como a prata, ouro, litio, estanho, que são usados em quase todos os equipamentos eletrônicos atuais não aparecem. Isto acontece porque os óxidos da tabela somam 99,22% da massa da crosta, o restante (0,78%) compreende compostos de todos os outros elementos sólidos naturais da tabela periódica, inclusive os elementos importantes para compreender como o radônio é formado, que são o U e o Th.

Tabela 1. Composição média de óxidos formadores da crosta terrestre (porcentagem em massa).

Óxidos	Porcentagem
SiO ₂	59,71
Al ₂ O ₃	15,41
CaO	4,90
MgO	4,36
Na ₂ O	3,55
FeO	3,52
K ₂ O	2,80
Fe ₂ O ₃	2,63
H ₂ O	1,52
TiO ₂	0,60
P ₂ O ₅	0,22
Total	99,22

Ressalta-se que os números apresentados na Tabela 1 são valores médios, portanto, para entender como os materiais se distribuem efetivamente pela crosta terrestre que é bastante heterogênea, deve-se compreender outro conceito geológico importante, a ocorrência mineral. Primeiro, define-se mineral simplificadamente como compostos químicos sólidos naturais formados por processos físicos e/ou químicos na crosta terrestre. Então, as ocorrências minerais são regiões onde observa-se uma concentração anômala de determinado elemento útil ou substância. Assim, se for feita uma análise química em uma região como esta, poderão ser observados valores em porcentagem de massa muito diferentes da Tabela 1.

Caso essa concentração anômala também venha acompanhada de uma massa e volume grandes

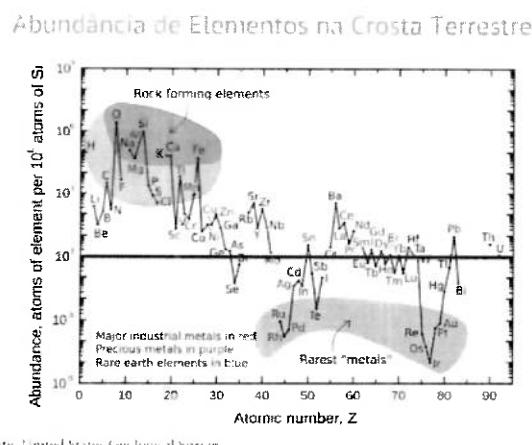
²⁰Professora do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas/MG.

²¹Professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

de material, o corpo mineral se torna um depósito mineral e, se for técnica e economicamente se torna uma jazida lavrável, que são os locais de onde as matérias primas para os materiais que precisamos no nosso dia-a-dia são extraídas.

Após compreender que as concentrações de elementos úteis na crosta terrestre não são uniformes, entende-se, por consequência, que os elementos urânio (U) e tório (Th) também se distribuem de forma heterogênea pela crosta terrestre, a abundância desses elementos pode ser observada na Figura 2. Estes elementos são os “pais” das três séries radioativas naturais existentes (conforme Figura 3).

Figura 2. Abundância elementos na crosta terrestre. Fonte: United States Geological Survey, 1992.



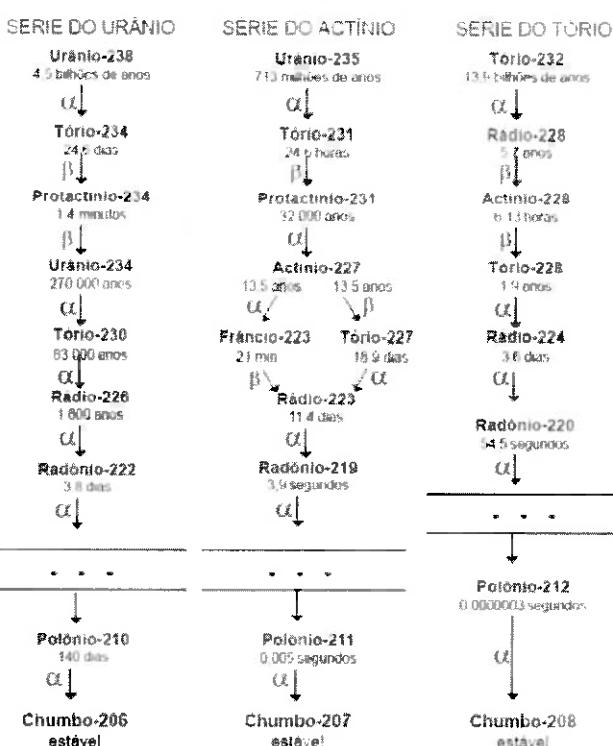
Fonte: United States Geological Survey

Estas três séries contêm um isótopo de radônio diferente como elemento intermediário que são diferenciados pelas suas meias-vidas, 3,8 dias para o ^{222}Rn , 4 segundos para o ^{219}Rn , e 56 segundos para o ^{220}Rn . O ^{219}Rn é menos frequente, pois é produto do decaimento de um isótopo de urânio pouco abundante (^{235}U) e sua meia-vida é extremamente curta, o que impede que as tecnologias existentes consigam detectá-lo. Então, os isótopos mais comuns em ordem decrescente são o ^{222}Rn e o ^{220}Rn . Este último foi apelidado de torônio (por ser da série do tório) para facilitar a diferenciação entre os isótopos.

Os isótopos de radônio são os únicos elementos das séries radioativas naturais que se apresentam no estado gasoso em temperatura ambiente, característica que facilita a mobilidade do radônio no solo, resultando que uma parte do gás consiga atingir a superfície.

Figura 3. Séries radioativas naturais. Fonte: CNEN, 2016.

SÉRIES RADIOATIVAS NATURAIS



A inalação dos isótopos do radônio é um perigo à saúde pois, como todos os elementos radioativos, o átomo instável libera energia e/ou partículas para tentar se estabilizar. Neste processo, o radônio libera partículas alfa e energia. Estas partículas alfa tem baixo poder de penetração, mas energia altíssima. Além do próprio decaimento do radônio, os elementos produtos do radônio, com meias-vidas curtíssimas podem se depositar no tecido epitelial do pulmão também. As emissões de partículas alfa ocorrerem, assim, dentro do pulmão.

Portanto, existe a possibilidade de ocorrer dano ao material do DNA devido a esses decaimentos. As células têm a capacidade natural de corrigir esses tipos de erros deixando de se dividir e morrendo, mas às vezes algumas células continuam se dividindo mesmo com problemas no material genético e isso pode causar câncer.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu o valor limite de referência de 300 Bq/m³ para ambientes internos. Muitos países da Europa utilizam 100 Bq/m³ como nível de ação, ou seja, a partir deste valor é recomendado que medidas de controle sejam implementadas para que a segurança dos habitantes seja assegurada. A unidade becquerel (Bq) é o número de transforma-

ções por segundo de uma fonte e é a unidade de atividade de uma amostra no Sistema Internacio-
nal.

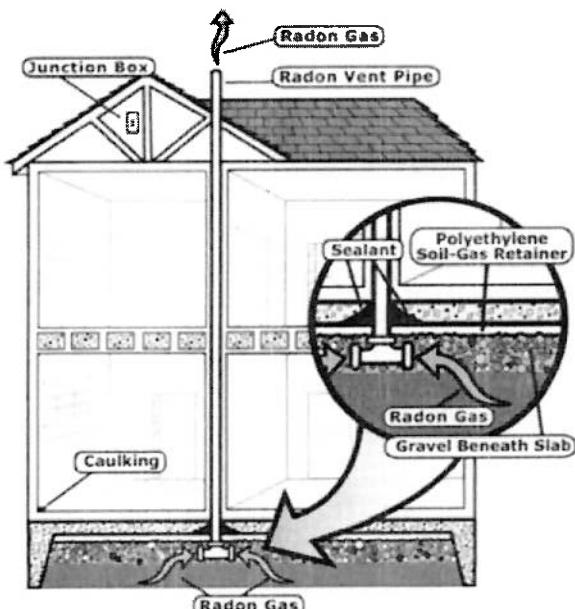
COMO O GÁS ENTRA NAS HABITAÇÕES

O gás radônio entra nas habitações por diferentes meios, quais sejam: o substrato no qual a casa foi construída, os materiais de construção da estrutura da habitação e os materiais de construção de revestimento, por exemplo, rochas ornamentais. A principal medida de prevenção e controle para concentrações altas dos isótopos do gás radônio é a ventilação. Os ambientes que apresentam concentrações altas deste gás devem ser estudados e um especialista deve propor a solução para cada caso específico.

Por exemplo, no caso que o gás advém do solo, as características construtivas da casa precisam ser consideradas para trabalhos de mitigação.

No caso que a estrutura da casa é a fonte, deve-se avaliar o uso de impermeabilizantes, assim como no caso de rochas de revestimento. Para novas residências, é possível realizar trabalhos de prevenção bastante efetivos, como apresentado na Figura a seguir.

Figura 4. Novas residências com medidas de prevenção instaladas. Fonte: EPA, 2012.



Na Figura 4, observa-se que um sistema de drenagem foi instalado de forma a criar um by-

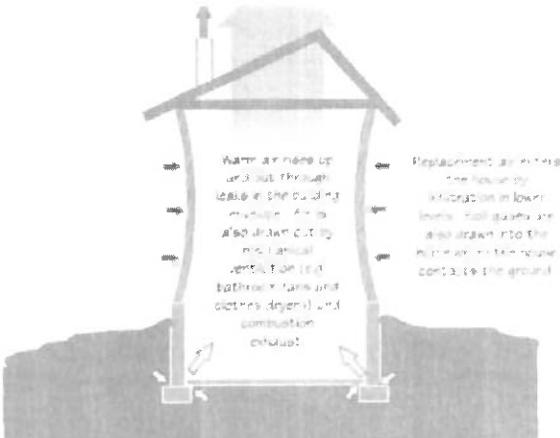
pass pela casa. Esta medida simples tem um custo benefício alto em novas residências.

Para casas já construídas, é importante observar que quando a pressão atmosférica cai, a exalação de gás do solo é favorecida, pois cria-se um gradiente positivo. Portanto, a quantidade de gás advinda do solo varia naturalmente com as estações do ano. O mesmo fenômeno ocorre quando manipulamos a temperatura dos ambientes utilizando sistemas de acondicionado ou aquecedores que requerem que os ambientes estejam fechados.

A Figura 5 mostra o efeito de sistemas de exaustão instalados nas casas como em coifas na cozinha ou nos banheiros.

A saída do ar gera uma pressão negativa na casa, assim o ar de fora repõe essas perdas de forma a igualar a diferença de pressão. As fissuras na estrutura da casa pode ser um meio importante de entrada de gás radônio do solo.

Figura 5. Mecanismos de entrada do gás nas residências. Fonte: EPA, 2012.



A fonte de gás radônio pode ser também os materiais de construção utilizados na construção das habitações, tanto os materiais de incorporação permanente na estrutura, como a areia de brita utilizada na preparação do cimento, quanto os materiais de revestimento, como as rochas ornamentais.

As rochas mais problemáticas são as de origem ígnea, pois carregam elementos pesados do magma, como urânio e tório. Rochas metamórficas que originalmente eram ígneas também podem ser problemáticas. Em termos de frequência de uso, os granitos, que são rochas plutônicas, são os mais críticos, devido às concentrações de minerais que contém urânio e tório que dão origem ao gás radônio.

Os mármore por terem origem sedimentar são menos problemáticos, muitos apresentam con-

tagem de atividade radioativa bem próxima de zero. Porém, alguns mármore vendidos na Suíça apresentam valores altos devido a localização dos depósitos, ou seja, os materiais que deram origem tinham elementos pesados na composição, mas são exceções.

Os parâmetros do material de construção que influenciam a exalação são: a granulometria, no caso da brita, a umidade, a permeabilidade e a rugosidade da superfície,



no caso das placas de rocha ornamental. Assim, um profissional habilitado pode avaliar se os materiais de uma determinada residência constituem um perigo à saúde dos moradores.

No Brasil, ainda não há legislação relativa às concentrações máximas e níveis de ação para o gás radônio. No mundo, Canadá e Estados Unidos se destacam em publicações sobre o tema e a Europa, em geral, também.

A Figura 6 mostra o panorama mundial sobre limites de concentração estabelecidos e pesquisas sobre radônio. Observa-se que, mesmo não existindo legislação sobre radônio no Brasil, existem publicações sobre o tema, destaca-se a contribuição do LAPOC – Laboratório de Poços de Caldas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) que publica

regularmente sobre o tema, além de contar com um laboratório específico para estudos sobre os isótopos do gás radônio.

8 Países - que tem atividades relacionadas ao Radônio, mas ainda não tem um nível de ação definido

Ex: Brasil, Itália, Espanha

22 Países - que tem um nível de ação definido para Radônio

Ex: Estados Unidos, Suíça, Canadá, China

157 Países - que não tem atividades relacionadas ao Radônio

Ex: Chile, África do Sul, México, Índia

Figura 6. Panorama mundial sobre pesquisas e legislação sobre radônio. Fonte: Adaptado de OMS. 2006.

O Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Unesp (IGCE), desde 1991, também publica sobre o tema.

Recentemente, em 2012, o LACASEMIN – Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração da USP, coordenado pelo Prof. Sérgio Médici de Estrela, também adquiriu equipamentos para detecção e medição dos isótopos ^{220}Rn e ^{222}Rn do radônio e, desde então, tem uma equipe de pesquisadores que também publicam sobre o tema.

A Sociedade Brasileira de Proteção Radiológica organiza a cada dois anos um simpósio sobre radônio no Brasil, com o intuito de promover a troca de experiências entre os pesquisadores sobre o tema no Brasil. Este ano (2016), em outubro, ocorre a terceira edição do evento em Belo Horizonte.

O campo de pesquisa é bastante vasto, visto que, além do radônio em interiores, que foi assunto deste texto, também há pesquisas sobre trabalhadores das minerações que respiram poeira mineral que precisa ser avaliada em relação à sua composição de forma a investigar um possível problema com radônio. Outro assunto importante é os produtos do decaimento do radônio em água e a concentração do próprio gás no sistema de distribuição dos municípios e em águas minerais comercializadas.

BIBLIOGRAFIA

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. Apostila educativa Radioatividade. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br>>. Acesso em 19 agosto de 2016.

EPA – Environmental Protection Agency. A Citizen's Guide to Radon. EPA 402/K-12/002. 2012. Disponível em: <www.epa.gov/radon>. Acesso em: 05 jan. 2016.

OMS – Organização Mundial da Saúde. World Health Organization's International Radon Project. DOI: 10.1080/15287390500261299. J Toxicol Environ Health A. 2006. Apr;69(7):759-69.

USGS – United States Geological Survey. U.S. Government Printing Office: 1992. The geology of radon. Washington, DC. ISBN: 0-16-037974-1.

BIBLIOGRAFIA

EL HAJJ, T. M., TERTULIANO, I., VIEIRA, T., CHIERAGTI, A. C., DELBONI JR., H. Estimating granite roughness using systematic random sampling for the evaluation of radon gas emanation from ornamental granite rocks. In: TOS Forum. Issue 5. doi: 10.1255/tosf.52. 2015a.

EL HAJJ, T.M.; DELBONI JR., H. ; ULSEN, C. ; KAHN, H. ; GANDOLLA, M. P. A. Ornamental rocks characterization to verify preferential mineral association of uranium concerning radon gas emanation. In: GEOMIN, 2015, Antofagasta. Proceedings Geomin, 2015b.

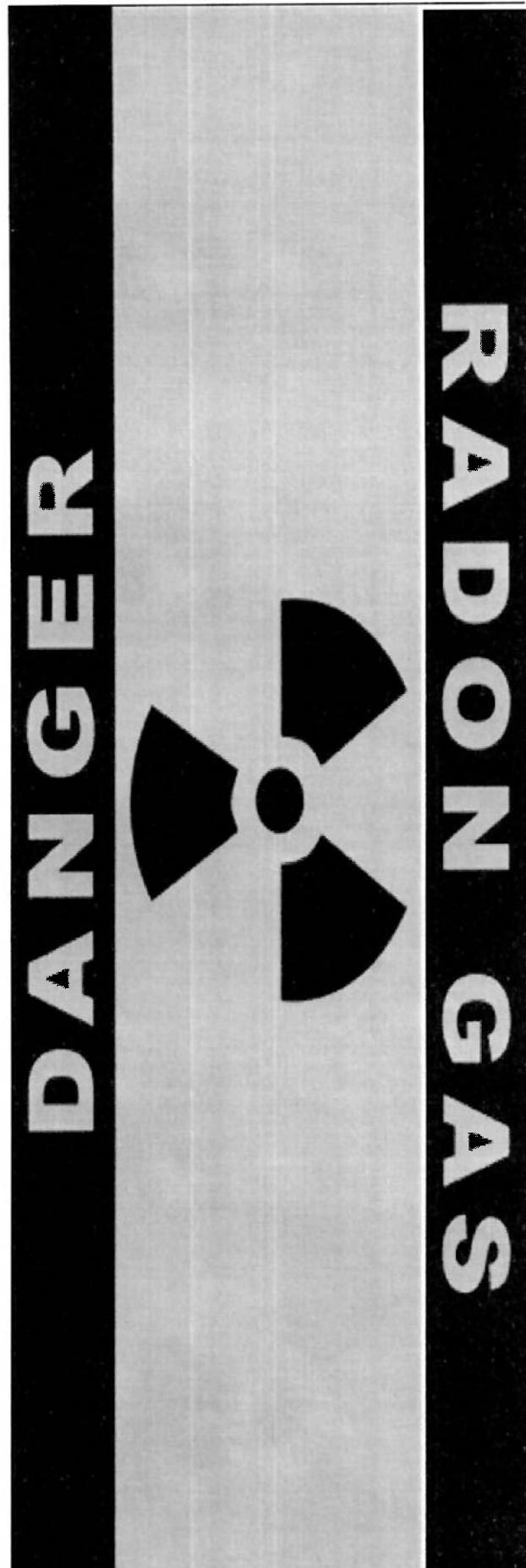
HAJJ, T. M. E.; LIMA, M. D. R.; ESTON, S. M.; GANDOLLA, M. P. A.; Delboni Junior, H. Metodologias para medição de Radônio em minerais utilizados na construção civil. In: Simpósio Latino-Americano Sobre Radônio/II Seminário sobre Radônio no Brasil, 2014, Poços de Caldas.

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. Sources, effects and risks of ionising radiation. Report to the General Assembly (New York: United Nations). 1988.

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. Ionizing radiation: Sources and Biological Effects (New York: United Nations). 1993.

UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. Exposure from Natural Sources of Radiation (New York: United Nations). 1994.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Who handbook on indoor radon: a public health perspective. France, WHO Press, 2009. 110p.

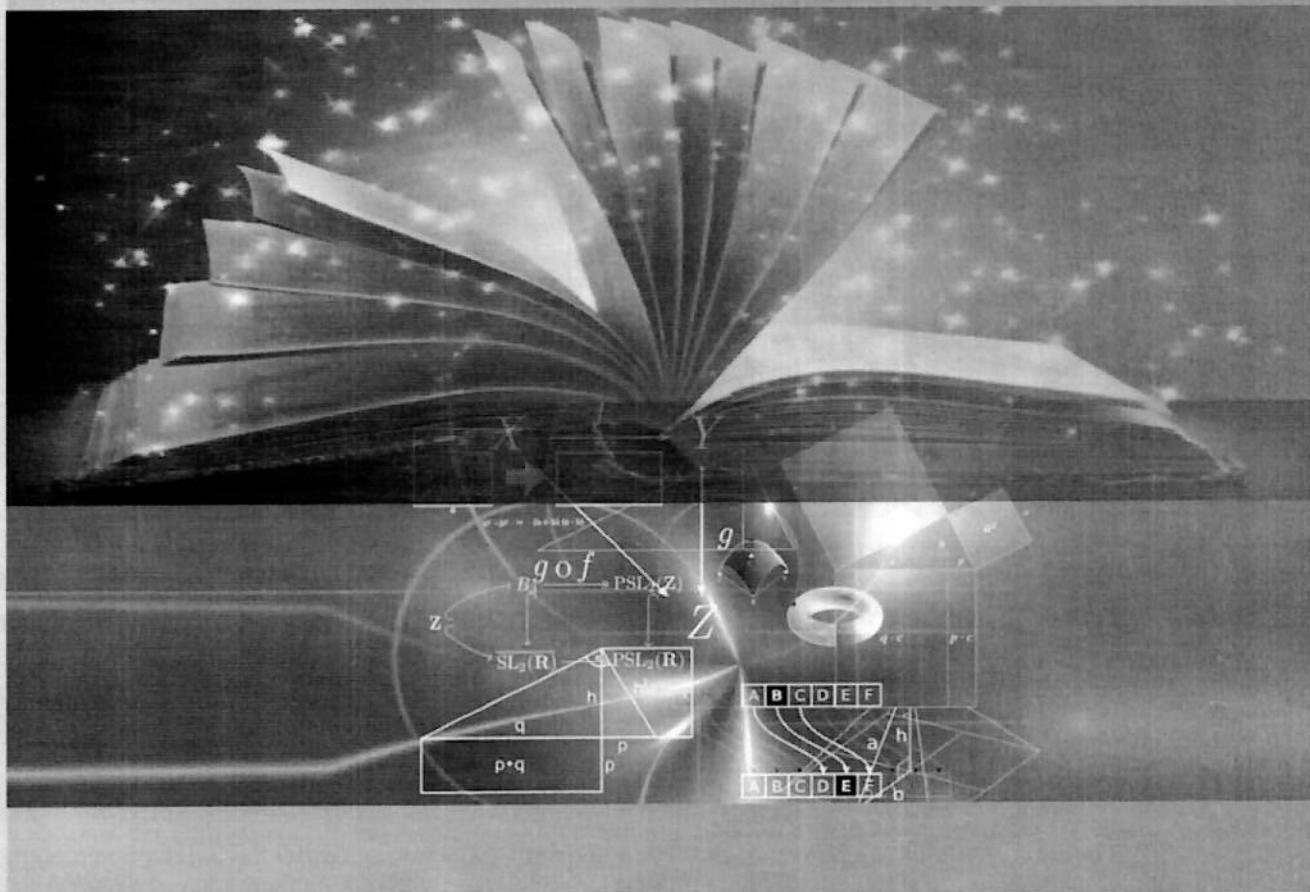
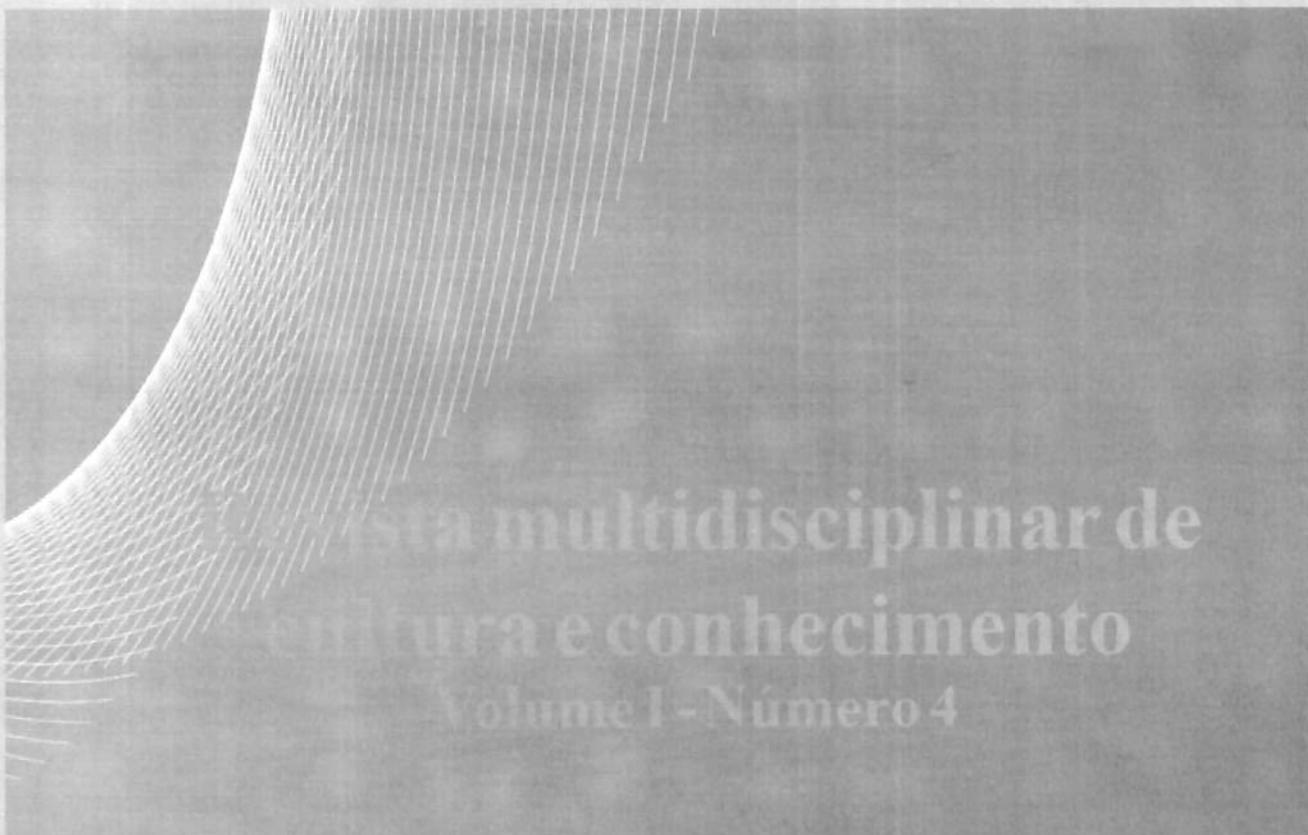


FISHERS



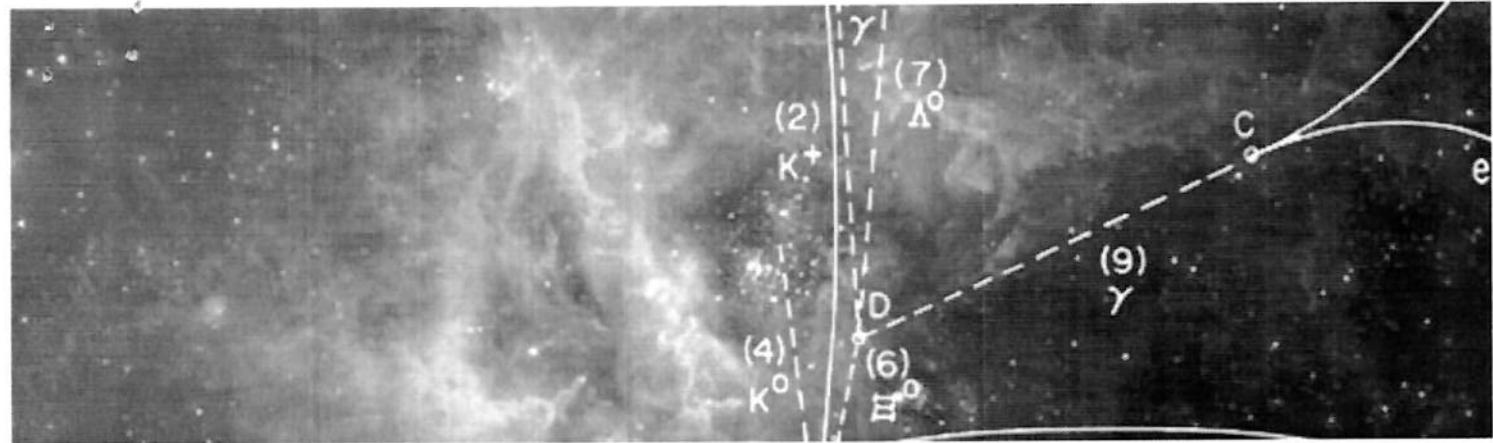
ISSN 2447-8148

www.edfishers.org



SUMÁRIO

Editorial e Expediente	3
Conto 1 - Tia Nancy	4
Conto 2 - Sobre Caminhos	6
Crônica 1 - A Renovação da Vida	8
Crônica 2 - Caça à raposa na abertura política. A obra de João Bosco e Aldir Blanc no contexto de abrandamento da censura na ditadura militar brasileira	9
Crônica 3 - Rago, (quase) cem anos de vida e música	13
Matemática - Cônicas: aspectos geométricos e analíticos	20
Ciências - Gás radônio: o perigo invisível	27
Administração Pública - É difícil fazer o óbvio! Por quê?	32
Filosofia das Artes Marciais - Artes marciais, meditação e treinamento dual como elemento distintivo da tradicionalidade	35



Editorial

Com este quarto número, a revista Fishers completa seu primeiro ano de publicações de artigos de seus colaboradores, que nos enviaram textos originais e plurais sobre arte, literatura e ciência.

Neste número temos a estreia da Jandira Moraes que, com seu conto, destaca os efeitos danosos dos maus professores e a conveniência de fazer as perguntas certas. E a Azilde nos conta neste número sobre um dos caminhos, ou talvez um descaminho, que trilhou.

E o professor Jean Pierre nos faz refletir sobre a vida e sua renovação, sobre nós mesmos e nossos vínculos com nossos sucessores, que um dia também terão seus sucessores. A vida segue e o fantástico show da vida não pode parar.

E o violão tem um destaque especial neste número. Enquanto o jornalista João Vitor se debruça sobre a obra de João Bosco e Aldir Blanco, confrontando a ação da ditadura militar com a reação daqueles artistas, em especial no disco Caça à raposa, o professor Milone nos conta sobre a obra musical e as aventuras artísticas que o violonista Antônio Rago passou em seus quase cem anos de vida.

Os artigos que se seguem são os de caráter científico. No primeiro deles, os professores Paulo Oliveira e Giuseppe Milone nos remetem às inspirações e criações matemáticas propiciadas por problemas associados às cônicas (elipses e circunferências, hipérboles e parábolas) em diferentes momentos e visões – isso desde os gregos até pouco tempo atrás. No seguinte, os professores Thammiris El Hajj e Homero Delboni descrevem o gás radônio, seu vínculo com nossas residências e nos alertam para o perigo que ele representa para a nossa saúde e dos nossos familiares. Na área da Administração Pública, o professor Moraes faz uma análise referente ao transporte público na Cidade de São Paulo. Por fim, o professor Rusilo discute alguns aspectos evolutivos das artes marciais.

Como já antes mencionado, esperamos que nossos leitores apreciem este número da Fishers. E relembramos que, na Fishers, novos colaboradores são sempre bem-vindos.



"Os conteúdos e os pontos de vista expressos nos textos são de responsabilidade de seus autores e não representam necessariamente as posições do Corpo Editorial da Revista"

Expediente



Associação Ed Fishers

Presidente

Giuseppe Milone

Vice Presidente

Paulo Roberto de Oliveira

Diretor Financeiro

Fátima Lilian Mélega Gallo

Editor

Mamerto Granja Garcia

Conselho Editorial

Giuseppe Milone

Paulo Roberto de Oliveira

Fátima Lilian Mélega Gallo

Mamerto Granja Garcia

Luiz Carlos Rusilo

Ana Olívia Barufi Franco de Magalhães

Carolina Del Roveri

Dalva Regina Ribeiro Barbosa

Eduardo César Sansone

Marcus dos Reis

Diagramação, arte e revisão

Mamerto Granja Garcia

Giuseppe Milone

Colaboradores

Antônio Carlos de Moraes

Azilde Andreotti

Jandira Moraes

Jean Pierre Marras

João Vitor de V. Oliveira

Homero Delboni Jr.

Thammiris El Hajj