

**CNEN****COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR**

NOTA TÉCNICA Nº 2/2021/LAB-PROQ-LAPOC/SECTEC/LAPOC/CGRC/DRS

PROCESSO Nº 01346.000098/2020-17**INTERESSADO: LABORATÓRIO DE POÇOS DE CALDAS, SEÇÃO TÉCNICA, DMAE, LABORATÓRIO DE PROCESSOS QUÍMICOS****TÍTULO: Avaliação radioquímica das águas geradas pelas estações de tratamento do município de Poços de Caldas – MG****Organização:** DMAE - Departamento Municipal de Água e Esgoto de Poços de Caldas**Autor(es):**

Henrique Takuji Fukuma - LAPOC/CNEN

Heber Luiz Caponi Alberti - LAPOC/CNEN

Marcos Roberto Lopes do Nascimento - LAPOC/CNEN

Revisado por:

Daniela Villa Flor Montes Rey Silva - LAPOC/CNEN

Aprovado por:

Antonio Luiz Quinelato - LAPOC/CNEN

1. RESUMO

Tendo em vista a veiculação, pelas mídias sociais, de comentários sobre uma possível contaminação radioativa nas águas tratadas do município de Poços de Caldas, decidiu-se por realizar este estudo que apresenta resultados analíticos atuais dos parâmetros radiométricos alfa total, beta total, urânio, tório, ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb , considerados mais relevantes. São apresentados, também, os valores máximos permitidos pela legislação vigente do Ministério da Saúde para os parâmetros analisados.

Os resultados obtidos para os parâmetros radiométricos referem-se à quatro coletas de amostras de água realizadas no ano de 2020 nos reservatórios ETA I, ETA III e ETA V. São apresentados, ainda, resultados desses mesmos parâmetros em amostras de água bruta, incrustações na calha de alimentação e de lodo do decantador, coletadas nas campanhas realizadas na ETA V. Esta amostragem específica foi realizada com base no fato desta estação ser a mais suscetível de contaminação antrópica.

Destaca-se que os resultados obtidos demonstram que a qualidade das águas está em conformidade com legislação vigente sendo, portanto, apropriada ao consumo humano.

2. INTRODUÇÃO

O homem sempre esteve exposto às radiações ionizantes devido à presença de radionuclídeos naturais ou artificiais na biosfera terrestre. A radiação vinda do cosmo e da biosfera, compreendendo radionuclídeos que existem na crosta terrestre, são as duas maiores fontes de radiação natural. Fontes de radiação artificial são aquelas decorrentes da atividade humana, como por exemplo, explosões nucleares e resíduo de combustível queimado de usinas termonucleares, que geram isótopos radioativos.

Para avaliar a dose de radiação recebida pela população, é importante conhecer o comportamento do radionuclídeo de interesse ao longo de várias vias de exposição até sua chegada ao homem. Pela quantificação de um radionuclídeo em um determinado compartimento (ou compartimentos) de interesse, assim como da definição dos hábitos de uma população, a dose de radiação pode ser calculada^{6.1}.

Nas últimas décadas, estudos radiológicos em regiões de radioatividade natural elevada têm sido intensificados, visando verificar quais seriam os possíveis efeitos biológicos no homem decorrente de exposições prolongadas a baixas doses de radiações ionizantes, neste caso, devidas basicamente a radionuclídeos naturais das séries do urânio, ²³⁸U, e do tório, ²³²Th, que têm meias-vidas relativamente longas^{6.2}.

Os radionuclídeos naturais encontram-se frequentemente presentes na água destinada ao abastecimento público, estando associados à origem destas fontes de água e sendo pertencentes às séries de desintegração radioativa do urânio, tório e actínio, que ocorrem naturalmente. Destes radionuclídeos, os elementos de maior interesse do ponto de vista de risco à saúde são o rádio (Ra), o radônio (Rn) e o urânio (U). Os isótopos pertencentes à série do urânio, que podem acarretar efeitos deletérios devido à sua presença na água de abastecimento, são o ²³⁸U, ²³⁵U, o ²²⁶Ra e o ²²²Rn. Além destes, o ²²⁸Ra, que ocorre na série do tório, ²³²Th, também pode ser encontrado na água potável e é considerado muito importante do ponto de vista radiológico. Os demais radionuclídeos, presentes nas três séries radioativas naturais, têm sido detectados em níveis muito baixos nas águas de abastecimento.

Em águas destinadas ao consumo humano a legislação brasileira vigente, conforme Portaria N^o 2914 de 12/12/2011 do Ministério da Saúde, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade^{6.3}. O artigo 38^o desta Portaria estabelece que os níveis de triagem que conferem potabilidade da água do ponto de vista radiológico, são valores de concentração de atividade que não excedem 0,5 Bq/L para atividade alfa total e 1Bq/L para beta total. Caso os níveis de triagem citados neste artigo sejam superados, deve ser realizada análise específica para os radionuclídeos presentes e o resultado deve ser comparado com os níveis de referência do Anexo IX desta Portaria, onde os valores máximos permitidos, VMPs, são de 1 Bq/L para ²²⁶Ra ; 0,1 Bq/L para ²²⁸Ra e 0,03 mg/L para U (equivalente a 0,6 Bq/L).

Em 2015 foi concluída uma pesquisa relativa à ocorrência natural de material radioativo na estação de tratamento ETA V do município de Poços de Caldas, desenvolvida pelo então aluno Adriano Mota Ferreira, como trabalho de conclusão de curso, com coorientação de pesquisadores da CNEN, em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfenas, *Campus* Poços de Caldas^{6.4}. Concluiu-se no estudo que os valores obtidos de alfa total, beta total, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, U e Th nas campanhas efetuadas, com coleta de água bruta e de água tratada, estavam abaixo do limite permitido pela legislação vigente. Apesar da pesquisa ter demonstrado que a água tratada da ETA V estava dentro dos padrões para consumo humano, o trabalho não teve a merecida divulgação e ficou restrito ao meio acadêmico.

Tem sido recorrente, no município de Poços de Caldas, a divulgação pelas mídias sociais de suspeitas da existência de contaminação de urânio na água da cidade, sobretudo referindo-se à Estação de Tratamento ETA V.

Assim, por exemplo em 03/03/2020, o portal g1.globo.com/mg/sul-de-minas reportou essa preocupação por parte de moradores. Nesta oportunidade o Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) responsável pelas estações de tratamento da cidade, negou que possa haver contaminação^{6.5}. O DMAE informou que atendia portaria do Ministério da Saúde com análises dos

parâmetros básicos, físico-químicos e bacteriológicos, analisados diariamente em seu laboratório, sendo as análises de urânio e de agrotóxicos realizadas mensalmente por laboratório terceirizado, credenciado pelo Ministério da Saúde.

Ressalte-se que o manancial abastecedor da ETA V é o ribeirão do Cipó, afluente da margem esquerda do ribeirão das Antas, cuja bacia sofre ocupação antrópica que incorpora um aterro sanitário e atividades industriais, estando sob influência da instalação da Unidade de Tratamento de Minério (UTM) das Indústrias Nucleares do Brasil (INB). Acresce-se, ainda, que segundo o DMAE, através do Plano Diretor de Abastecimento de Água do Município de Poços de Caldas^{6,6}, necessita-se de uma captação no interior do reservatório, pelo fato de que a captação atual para a ETA V é feita num ponto do ribeirão do Cipó a apenas 330 m a montante de sua foz no ribeirão das Antas. Por ocasião das estiagens, ocorre que o remanso de um pequeno barramento existente no ribeirão das Antas, faz com que a água deste acabe chegando à captação, comprometendo a qualidade da água bruta captada.

Assim, pelos fatos acima expostos e aludindo sobretudo às preocupações da população de eventual contaminação radioativa, esse estudo apresenta dados mais recentes de valores paramétricos radiológicos da água da ETA V, como também das outras estações de tratamento de água do município de Poços de Caldas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Processo de Tratamento das Águas nas Estações de Tratamento de Poços de Caldas

Inicialmente é feita a oxidação dos metais presentes na água, principalmente do ferro e manganês, que normalmente se apresentam dissolvidos na água bruta. É feita a adição de hipoclorito de sódio em fluxo contínuo na calha de alimentação, pois este torna os metais insolúveis na água, permitindo sua remoção nas outras etapas de tratamento.

A remoção das partículas no tanque de mistura rápida é feita com adição do coagulante sulfato de alumínio que têm o poder de aglomerar as partículas, formando flocos. Para otimizar o processo adiciona-se cal, que mantém o pH da água no nível adequado. Na floculação, a água já coagulada movimenta-se de tal forma dentro dos tanques, que os flocos misturam-se ganhando peso, volume e consistência. Na decantação, os flocos formados anteriormente separam-se da água, sedimentando-se no fundo dos tanques.

As impurezas que não foram sedimentadas no processo de decantação são retidos por filtros constituídos por camadas de areia e antracito, suportadas por cascalho de diversos tamanhos que retêm a sujeira ainda restante. A seguir a água recebe uma quantidade adicional de hipoclorito para eliminar germes nocivos à saúde. Em atendimento ao Ministério da Saúde, a água é finalmente fluoretada, com adição do ácido flúor-silícico, objetivando a redução de incidência de cárie dentária no período de formação de dentes da população.

3.2. Locais de Amostragem e Material Coletado

Quatro campanhas de amostragem de água tratada foram feitas no ano de 2020, no final de cada estação do ano, nas datas de 17/03 (verão), 18/06 (outono), 03/09 (inverno) e 15/12 (primavera) nas estações ETA I (bairro São Benedito), ETA III (bairro São José) e ETA V (Rodovia do Contorno, bairro Tiradentes). Os mananciais abastecedores destas estações são a represa Saturnino de Brito, ribeirão Vai e Volta e ribeirão do Cipó, respectivamente. A Figura 1 mostra o mapa dos recursos hídricos do município de Poços de Caldas, com os mananciais abastecedores, pontos de captação e a localização das estações de tratamento.

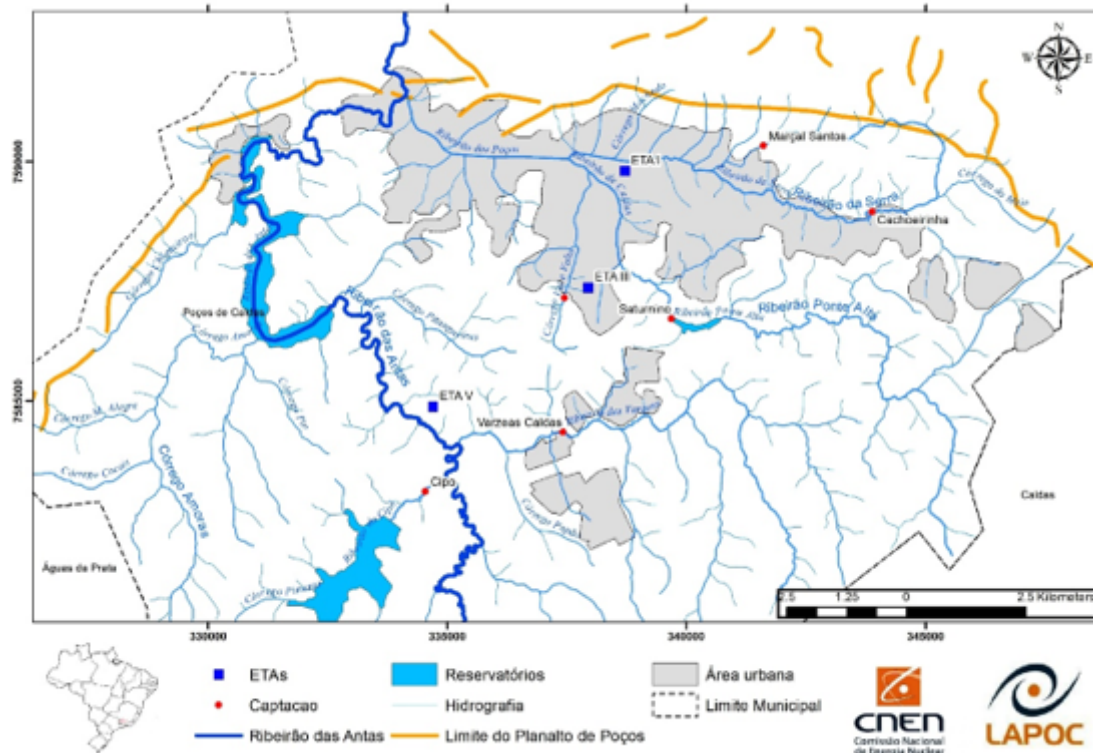


Figura 1 - Mapa dos recursos hídricos do município de Poços de Caldas

Objetivando uma melhor caracterização radioquímica da ETA V, dada a influência da bacia do Antas no manancial abastecedor desta estação, foram feitas ainda na 1ª campanha, coletas adicionais das seguintes amostras: água bruta no ribeirão do Cipó no local de captação; resíduo de incrustação na calha de alimentação que conduz a água a ser tratada para o tanque de tratamento e lodo do fundo do decantador.

A amostra de água bruta da Estação ETA V foi coletada na tubulação da captação, antes do tratamento e as amostras de água tratada de todas Estações na saída da tubulação, após o processo completo de tratamento. As amostras de água foram coletadas em frascos plásticos e preservadas com adição de 1 mL de ácido nítrico concentrado ultra puro (produto p.a.destilado) por litro de água. A amostra de lodo foi coletada diretamente do decantador quando o mesmo era esvaziado para limpeza.

3.3. Análises químicas e radiométricas

As amostras de água analisadas foram previamente submetidas a uma digestão ácida conforme método do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, SMEWW^{6,7}. As determinações de urânio e tório totais foram feitas por espectrometria de massa por plasma acoplado indutivamente, ICP-MS, e as de ferro e manganês totais por espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente, ICP-OES, usando métodos do SMEWW^{6,8; 6,9}. Para as análises de alfa e beta totais e análises de ²²⁶Ra, ²²⁸Ra e ²¹⁰Pb adotou-se métodos da USEPA, United States Environmental Protection Agency^{6,10; 6,11}.

Nas amostras de resíduo de incrustação na calha de alimentação e de lodo do decantador, o urânio e tório foram analisados por ICP-MS, ferro e manganês por ICP-OES após solubilização nítrica. ²²⁶Ra, ²²⁸Ra e ²¹⁰Pb, foram analisados por espectrometria gama de alta resolução. As análises de alfa e beta totais foram feitas em contadores específicos desses parâmetros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estação de tratamento ETA V é, sem dúvida, a mais importante do ponto de vista de eventual contaminação química e radiológica, dada sua captação no manancial ribeirão do Cipó, afluente do ribeirão da Antas, cuja bacia sofre ocupação antrópica, como detalhado acima.

As Tabelas 1 e 2 mostram resultados de parâmetros químicos e radiométricos da água bruta coletada no manancial abastecedor ribeirão do Cipó e da água tratada na Estação ETA V, nas quatro campanhas.

Tabela 1. Água Bruta ETA V

Parâmetro	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Alfa total (Bq/L)	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Beta total (Bq/L)	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Fe (mg/L)	< 0,1	0,28 ± 0,03	0,44 ± 0,05	0,74 ± 0,07
Mn (mg/L)	0,15 ± 0,02	0,19 ± 0,02	0,14 ± 0,02	0,42 ± 0,04
Pb-210 (Bq/L)	0,027 ± 0,011	0,037 ± 0,012	< 0,02	0,03 ± 0,01
Ra-226 (Bq/L)	< 0,02	0,022 ± 0,005	< 0,02	< 0,02
Ra-228 (Bq/L)	< 0,02	0,048 ± 0,018	< 0,02	< 0,02
Th (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025
U (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025

Tabela 2. Água Tratada ETA V

Parâmetro	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Alfa total (Bq/L)	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Beta total (Bq/L)	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Fe (mg/L)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Mn (mg/L)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
²¹⁰ Pb (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
²²⁶ Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
²²⁸ Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Th (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025
U (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025

Os parâmetros radiométricos determinados nesse reservatório, e mesmo na água bruta do seu manancial, que é o mais suscetível da atividade antrópica, apresentam concentração abaixo dos VMPs comparados aos estabelecidos pela legislação, ou seja, alfa total 0,5 Bq/L, beta total 1 Bq/L, ²²⁶Ra 1 Bq/L, ²²⁸Ra 0,1 Bq/L e U 0,03 mg/L.

Os resultados obtidos nos demais reservatórios do município, mostrados nas Tabelas 3 e 4, também não excedem os VMPs da legislação.

Tabela 3. Água tratada ETA I – São Benedito

Parâmetro	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Alfa total (Bq/L)	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Beta total (Bq/L)	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
²¹⁰ Pb (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
²²⁶ Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
²²⁸ Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Th (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025
U (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025

Tabela 4 - Água tratada ETA III – São José

Parâmetro	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Alfa total (Bq/L)	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
Beta total (Bq/L)	< 0,15	< 0,15	< 0,15	< 0,15
²¹⁰ Pb (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
²²⁶ Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
²²⁸ Ra (Bq/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Th (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025
U (mg/L)	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025	< 0,0025

A presença de íons Fe e Mn na água bruta, mesmo em concentrações não muito significativas, como mostrado na Tabela 1, são precipitados, após o tratamento com a adição do cloro, cal e depois floculados pela adição do floculante sulfato de alumínio. As Tabelas 5 e 6 mostram a caracterização química e radiométrica da incrustação na calha de alimentação que conduz a água para o tanque de tratamento e do lodo do decantador que se constitui, no material floculado. Os resultados demonstram que os oxihidróxidos de ferro e manganês são excelentes carreadores de rádio e urânio sendo que o oxihidróxido de ferro (III) pode concentrar até 400% mais rádio que urânio, cujo mecanismo é bem conhecido^{6,12}. Portanto, mesmo considerando baixo o nível de concentração de atividade dos radionuclídeos na água de alimentação, os mesmos são substancialmente concentrados no resíduo de incrustação na calha de alimentação e no lodo do decantador.

Tabela 5. Resíduo de Incrustação na calha de alimentação na ETA V

Parâmetro	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Alfa total (Bq/Kg)	12.492 ± 2.556	4.614 ± 1.011	6.580 ± 1.415	4.057 ± 887
Beta total (Bq/Kg)	8.628 ± 721	3.763 ± 350	5.041 ± 445	4.072 ± 385
Fe (%)	6,43 ± 0,19	10 ± 1	4,88 ± 0,20	6,11 ± 0,18
Mn (%)	18,1 ± 0,18	27 ± 4	13,8 ± 1,0	20,6 ± 0,21
Pb-210 (Bq/kg)	332 ± 50	205 ± 31	249 ± 31	242 ± 36
Ra-226 (Bq/Kg)	1.523 ± 170	662 ± 79	918 ± 110	768 ± 87
Ra-228 (Bq/kg)	1.865 ± 95	865 ± 43	1.231 ± 62	1.214 ± 61
Th (mg/Kg)	34 ± 4	33 ± 3	63 ± 3	< 60
U (mg/Kg)	< 25	< 25	< 25	< 60

Tabela 6 - Lodo do decantador da ETA V

Parâmetro	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Alfa total (Bq/Kg)	2.193 ± 515	1.987 ± 486	1.834 ± 459	1.847 ± 416
Beta total (Bq/Kg)	1.875 ± 229	1.371 ± 181	1.793 ± 207	1.514 ± 212
Fe (%)	8,00 ± 0,24	8 ± 1	4,08 ± 0,20	4,37 ± 0,02
Mn (%)	0,47 ± 0,023	0,95 ± 0,10	0,912 ± 0,010	0,393 ± 0,010
Pb-210 (Bq/kg)	192 ± 20	223 ± 24	195 ± 20	225 ± 33
Ra-226 (Bq/Kg)	124 ± 40	102 ± 22	142 ± 24	146 ± 31
Ra-228 (Bq/kg)	146,5 ± 7,9	140,6 ± 7,7	229 ± 12	209 ± 11
Th (mg/Kg)	30 ± 17	< 25	< 25	< 25
U (mg/Kg)	< 25	< 25	< 25	< 25

5. CONCLUSÕES

Os resultados das Tabelas 2, 3 e 4 demonstram que as águas fornecidas pelas estações de tratamento da Prefeitura de Poços de Caldas-MG não apresentam níveis de radioatividade que motive temor por parte

dos habitantes do município, pelo fato dessas águas serem adequadas ao consumo humano e, portanto, em conformidade com a legislação. No caso da ETA V, que utiliza a água do ribeirão do Cipó para sua captação, mesmo considerando baixo o nível de radioatividade desse manancial, o processo adotado no tratamento contribui substancialmente para reduzir ainda mais a radioatividade, dada a formação dos oxi-hidróxidos de ferro e manganês que atuam como eficientes carreadores de rádio e urânio.

6. REFERÊNCIAS

- 6.1. Amaral, E.C.S. Modificação da exposição à radiação natural devido a atividades agrícolas e industriais numa área de radioatividade natural elevada no Brasil. Rio de Janeiro, 1992, 130p. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- 6.2. Vaquerizo, D.M.A. *Ciências aplicadas a la actividad profesional*, 4º ESO 2914 ISBN 9788490788097, 2016. Consultado em 14/02/2020.
- 6.3. Ministério da Saúde, Portaria Nº 2914 de 12/12/2011.
- 6.4. Ferreira, A.M. Ocorrência natural de material radioativo em estação de tratamento de água no Planalto de Poços de Caldas. Universidade Federal de Alfenas, Engenharia ambiental, *Campus Poços de Caldas-MG*, 2015. Comunicação Pessoal.
- 6.5. Portal <https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/> de 03/03/2020.
- 6.6. Departamento de Água e Esgoto de Poços de Caldas, DMAE. Plano Diretor de Abastecimento de Água. Relatório Geral, Texto Vol 1/4. Poços de Caldas, 2013.
- 6.7. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Method, 23 Ed., 2017. Method 3030E Nitric Acid Digestion.
- 6.8. *Ibid*, Method 3125B. Determination of uranium and thorium in waters and wastewaters by mass inductively coupled Plasma mass spectrometry (ICP-MS).
- 6.9. *Ibid*. Method 3010B. Determination of metals in Waters and wastewater by inductively couple plasma optical emission spectrometry (ICP-OES).
- 6.10. United States Environmental Protection Agency, EPA Method 9310, Gross Alpha and Gross Beta in surface and ground waters, 1986.
- 6.11. *Ibid*. SW-846 , EPA Method 9320. Determination of radium 228 in water (Also Applied to radium 226), 2014.
- 6.12. Dickson, B.L and Snelling, A.A. Movements of uranium and daughter isotopes in the Koongarra uranium deposit. In: International Atomic Energy Agency. Uranium in the Pine Creek Geosyncline: Proc.Int.Symp. held in Sydney, 1979. Vienna, pp.499-508, 1980.



Documento assinado eletronicamente por **Henrique Takuji Fukuma, Tecnologista**, em 06/10/2021, às 08:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no §1º do art. 7º da Portaria PR/CNEN nº 80, de 28 de dezembro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Roberto Lopes do Nascimento, Tecnologista**, em 22/10/2021, às 12:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no §1º do art. 7º da Portaria PR/CNEN nº 80, de 28 de dezembro de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **Heber Luiz Caponi Alberti, Pesquisador**, em 24/10/2021, às 11:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no §1º do art. 7º da Portaria PR/CNEN nº 80, de 28 de dezembro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **Daniela Villa Flor Montes Rey Silva, Chefe da Seção**



Técnica, em 25/10/2021, às 09:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no §1º do art. 7º da Portaria PR/CNEN nº 80, de 28 de dezembro de 2018.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.cnen.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1077168** e o código CRC **9296F6E3**.

Referência: Processo nº 01346.000098/2020-17

SEI nº 1077168