

# GEOCIÊNCIAS:

## A história da terra

2

Luis Ricardo Fernandes da Costa  
(Organizador)

 **Atena**  
Editora  
Ano 2022

# GEOCIÊNCIAS:

## A história da terra

# 2

**Luis Ricardo Fernandes da Costa**  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Geociências: a história da terra 2

**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Luis Ricardo Fernandes da Costa

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G342 Geociências: a história da terra 2 / Organizador Luis Ricardo Fernandes da Costa. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0017-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.172223003>

1. Geociências. I. Costa, Luis Ricardo Fernandes da (Organizador). II. Título.

CDD 550

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

É com muito prazer que apresentamos a obra “Geociências: a história da Terra 2”, que apresenta uma série de seis artigos com diferentes abordagens e metodologias que dão prosseguimento as discussões do livro anterior.

A obra é composta por trabalhos voltados para as geociências e que abordam diferentes metodologias, desde análises de qualidade de água, passando pela importância de fontes de energias renováveis, além do planejamento ambiental e suas diferentes aplicações para o meio ambiente.

Como destaque, cabe ressaltar a aplicabilidade em diferentes contextos e realidades no Brasil e no exterior, além das experiências voltadas a consolidação do ensino de geociências a nível nacional, como é abordado ao longo do livro.

Diante dos desafios e atual conjuntura da ciência brasileira, a presente obra é uma possibilidade e esforço de divulgação de trabalhos em diferentes escalas e com a qualidade a nível Brasil, mesmo com os percalços e desafios da pesquisa cotidiana.

Convidamos a todos os leitores a percorrer pelo sumário e conferir o novo volume para essa coleção, com possibilidades de expansão e disseminação nos próximos trabalhos da área.

Luis Ricardo Fernandes da Costa

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
DETERIORATION OF WATER QUALITY IN THE NHARTANDA VALLEY AQUIFER, CITY OF TETE – MOZAMBIQUE	
Ameno Délcio João Paulino Bande	
Isabel Margarida Horta Ribeiro Antunes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1722230031">https://doi.org/10.22533/at.ed.1722230031</a>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
ESTIMACIÓN DE LA PLATAFORMA ENERGÉTICA SOLAR DISPONIBLE EN LA REGIÓN DE LOS LLANOS DE VENEZUELA	
Uxmal Amezquita	
Julio Alvares	
Yesika Hurtado	
Carlos Ulloa	
María Varela	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1722230032">https://doi.org/10.22533/at.ed.1722230032</a>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
MAPEAMENTO DE REGIÕES DE SUSCEPTIBILIDADE DE CONTAMINAÇÃO POR HIDROCARBONETOS PROVENIENTES DE POSTOS DE REVENDA DE COMBUSTÍVEIS EM JOÃO PESSOA - PARAÍBA	
Bruno José de Macedo Silva Leite	
Aline Flávia Nunes Remígio Antunes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1722230033">https://doi.org/10.22533/at.ed.1722230033</a>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>39</b>
PAISAGEM E PLANEJAMENTO DA ORLA URBANA DE SALINÓPOLIS - PA	
Antônio Carlos Ribeiro Araújo Júnior	
Adriane Karina Amin de Azevedo	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1722230034">https://doi.org/10.22533/at.ed.1722230034</a>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
TEORIA DE AMOSTRAGEM DE PIERRE GY APLICADA À ÁGUAS MINERAIS ENVASADAS	
Thays de Souza João Luiz	
Vlândia Cristina Gonçalves Souza	
Andson Pereira Ferreira	
Gustavo Leandro Tomazi	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.1722230035">https://doi.org/10.22533/at.ed.1722230035</a>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
USO DA VARIÂNCIA DE EXTENSÃO NO MONITORAMENTO DE BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS EM ÁGUAS MINERAIS ENVASADAS	
Thays de Souza João Luiz	

Vlória Cristina Gonçalves Souza

Andson Pereira Ferreira

Gustavo Leandro Tomazi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1722230036>

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>73</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>74</b>

## TEORIA DE AMOSTRAGEM DE PIERRE GY APLICADA À ÁGUAS MINERAIS ENVASADAS

*Data de aceite: 01/02/2022*

### **Thays de Souza João Luiz**

Universidade Virtual do Estado de São Paulo (UNIVESP), Tutoria dos cursos das Licenciaturas e das Engenharias

### **Viádia Cristina Gonçalves Souza**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN)

### **Andson Pereira Ferreira**

Coordenador do Instituto Federal do Pará (IFPA), Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental

### **Gustavo Leandro Tomazi**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN)

**RESUMO:** Este trabalho consistiu na aplicação da teoria de Amostragem de Pierre Gy em conjunto com o conceito de variância de extensão que provém da Geoestatística, para determinar a melhor frequência de amostragem para duas fontes de águas minerais envasadas do Estado de São Paulo. As fontes analisadas foram a Fonte Santo Antonio localizada em São Paulo e a Fonte Verônica localizada em Serra Negra. Da Fonte Santo Antonio foram coletadas embalagens de 20 litros e da Fonte Verônica foram coletadas garrafas de 510 ml. As análises químicas foram realizadas para os seguintes elementos: cálcio, cloreto, magnésio e sódio. A água mineral

foi considerada como material heterogêneo segundo a Teoria de Pierre Gy e calculou-se o sua Heterogeneidade de Constituição. O intervalo de coleta das amostras foi de um dia, e por meio do cálculo da variância de extensão foi obtido o erro de se amostrar os parâmetros químicos em intervalos iguais a 2 dias, 4 dias, 8 dias etc. Correlacionando-se a variância de extensão com os erros de amostragem obtidos da Teoria de Pierre Gy chegou-se ao resultado de que o intervalo de coleta das fontes deve ser menor que 4 meses ou 128 dias.

**PALAVRAS-CHAVE:** Teoria de Amostragem de Pierre Gy, variância de extensão, frequência de amostragem, águas minerais, parâmetros químicos.

### PIERRE GY'S THEORY OF SAMPLING APPLIED TO BOTTLED MINERAL WATERS

**ABSTRACT:** This work consisted in the application of Pierre Gy's Sampling theory together with the concept of extension variance that comes from Geostatistics, to determine the best sampling frequency for two sources of bottled mineral waters in the State of São Paulo. The water sources analyzed were the Fonte Santo Antonio located in São Paulo and the Fonte Verônica located in Serra Negra. From Fonte Santo Antonio, were collected 20 liter containers and from Fonte Verônica, were collected 510 ml bottles. Chemical analyzes were performed for the following elements: calcium, chloride, magnesium, and sodium. Mineral water was considered a heterogeneous material

according to Pierre Gy's Theory and its Constitutional Heterogeneity was calculated. The sample collection interval was one day, and by calculating the extension variance, the error of sampling the chemical parameters at intervals equal to 2 days, 4 days, 8 days etc. was obtained. Correlating the extension variance with the sampling errors obtained from Pierre Gy's Theory, the result was that the source collection interval must be less than 4 months or 128 days.

**KEYWORDS:** Pierre Gy's Sampling Theory, extension variance, sampling frequency, mineral waters, chemical parameters.

## 1 | INTRODUÇÃO

A indústria de águas minerais envasadas pertence ao ramo das indústrias mineiras, deveria seguir a maior parte da legislação mineira no que tange às práticas de amostragem de minérios, mas parece que na prática isso não é levado em consideração. A amostragem na indústria de águas envasadas é muito peculiar se comparada com a amostragem da indústria mineira. Na figura 1, são resumidos algumas das diferenças entre a amostragem na indústria mineral e a indústria das águas minerais envasadas.



Figura 1 – Diferença entre a amostragem das águas envasadas e a amostragem na indústria mineral. Fonte: Autores (2021).

Convém dizer que essas peculiaridades existentes no processo de amostragem de águas minerais têm gerado muitos erros de amostragem que têm levado à classificação equivocada das fontes de águas minerais, em função do baixo número de amostras coletadas para se fazer a classificação das fontes segundo as normas da Agência Nacional de Mineração (BRASIL, 1945; BRASIL, 2014; BRASIL, 2019; BRASIL, 2021).

O objetivo do presente artigo é a aplicação das técnicas de amostragem que são usadas na indústria mineira para se determinar a melhor frequência de amostragem para duas fontes de águas minerais envasadas. Serão aplicadas as técnicas de geoestatística comumente usadas na indústria mineral, onde são usados variogramas temporais para se amostrar o teor dos minérios. Esses procedimentos podem ser vistos nos seguintes trabalhos no autor Pierre Gy: Gy (2004a), Gy (2004b); Gy (2004c); Gy (2004d) e Gy (2004e). Neste trabalho foram combinadas o uso de técnicas importantes de geoestatística (variogramas temporais e uso da variância de extensão) com a conhecida Teoria de Amostragem de Pierre Gy (com destaque para o uso do conceito do erro fundamental de amostragem e da heterogeneidade de constituição do minério), para que se pudesse encontrar a melhor frequência de amostragem para os parâmetros químicos analisados das duas fontes, de forma a minimizar a contribuição do erro de amostragem e a atender os valores mínimos e máximos estabelecidos na legislação vigente para os parâmetros analisados.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho foram colhidas 20 amostras da Fonte Santo Antonio localizada na cidade de São Paulo, as amostras coletadas foram garrafas de 20 litros retornáveis. A segunda fonte amostrada foi a Fonte Verônica, localizada na cidade de Serra Negra, dessa fonte também foram coletadas 20 amostras, as embalagens coletadas forma garrafas descartáveis de 510 ml. Tanto a água mineral da Fonte Santo Antonio como da Fonte Verônica é classificada como sendo água mineral fluoretada. Para as duas fontes, a coleta das amostras foi diária, os parâmetros químicos analisados foram: cálcio, cloreto, magnésio e sódio. Apesar da coleta ser diária, nem sempre as fontes envasavam as embalagens todos os dias, coletaram-se as amostras conforme a disponibilidade nos estabelecimentos comerciais em que eram adquiridas. Mas considera-se que a periodicidade de coleta das amostras como sendo diária (intervalo  $t = 1$  dia).

Ao término da coleta de 20 amostras de cada fonte, foram realizadas as análises químicas no laboratório, o laboratório seguiu a metodologia de amostragem estabelecida no manual **Standard methods for the examination of water and wastewater** (Rice et. al. 2012), foi usada a 22ª edição desse manual de amostragem de águas. Após a obtenção dos resultados das análises foi dado o tratamento estatístico aos dados e posteriormente, foram construídos os variogramas temporais, mostrados na equação 1, o modelo de variograma utilizado foi o esférico (Armstrong, 1998):

$$\gamma(t) = C_0 + C_1 \left[ 1,5 \left( \frac{t}{a} \right) - 0,5 \left( \frac{t}{a} \right)^3 \right], \text{ para } t < a$$

(1)

$$\gamma(t) = C_0 + C_1, \text{ para } t \geq a$$

Na equação 1, o termo “t” corresponde ao intervalo de tempo de amostragem, o termo “a” corresponde ao alcance do variograma, o termo  $C_0$  corresponde ao efeito pepita do variograma e o termo  $C_1$  corresponde ao sill do variograma.

Os variogramas temporais foram calculados no software de geoestatística SGeMS (SGeMS, 2012), foi usada a versão acadêmica da UFRGS desse software. Após calcularem-se os variogramas temporais, foi calculada a variância de extensão por meio da fórmula da equação 2:

$$\sigma_{ext}^2\left(\frac{-}{T}\right) = 2\bar{\gamma}\left(\frac{-}{t}\right) - \bar{\gamma}\left(\frac{-}{T}\right) \quad (2)$$

Na equação 2, o termo  $\sigma_{ext}^2$  corresponde à variância de extensão; o termo  $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{t}\right)$  é a variância de dispersão média com respeito ao intervalo de tempo menor “t” e o termo  $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{T}\right)$  = é a variância média de dispersão com respeito ao intervalo de tempo maior “T”. Os variogramas correspondentes aos termos  $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{t}\right)$  e  $\bar{\gamma}\left(\frac{-}{T}\right)$  foram calculados no software geoestatístico GSLIB desenvolvido pelos autores Deutsch & Journel (1998). O GSLIB é um software livre e pode ser acessado na internet (GSLIB, 2014).

O cálculo da variância de extensão é uma estimativa do erro de precisão cometido quando nós retiramos amostras em intervalos de tempo mais longos levando em consideração o intervalo de tempo mínimo em que é possível realizar a coleta de amostras. Neste artigo, o intervalo mínimo foi de um dia (t), mas desejava-se saber qual seria o erro para se a coleta tivesse sido realizada a cada dois dias, a cada quatro dias, a cada 8 dias, e assim por diante. Por isso calculou-se a variância de extensão para t = 2 dias até t = 2048 dias. A legislação da ANM determina uma periodicidade de coleta igual a 3 anos, o que corresponde a um intervalo de aproximadamente t = 1095 dias

Para que fosse possível aplicar a Teoria de Pierre Gy, considerou-se a água mineral como sendo um material heterogêneo. Para se usarem as fórmulas de Pierre Gy, foram feitas extrapolações nas fórmulas, pois na indústria mineral propriamente dita, usam-se as fórmulas de Gy para os óxidos que são componentes dos minerais que estão sendo amostrados, no caso da água mineral, foram usados os teores dos íons para os seguintes elementos químicos: cálcio ( $Ca^{+2}$ ), cloreto ( $Cl^{-}$ ), magnésio ( $Mg^{+2}$ ) e sódio ( $Na^{+}$ ). Para os elementos químicos em questão foi calculada a heterogeneidade carregada por um fragmento dentro de um lote – conhecida pelo termo  $h_i$ . Foi usada a fórmula da equação 3 (PITARD, 1993).

$$h_i = N_F \frac{(a_i - a_L)}{a_L} \frac{M_i}{M_L} \quad (3)$$

Na equação 3, o termo  $N_F$  corresponde ao número de fragmentos no lote L; o termo

$a_i$  é o teor do componente no incremento; o termo  $a_L$  é o teor médio do componente no lote L, o termo  $M_i$  é massa do incremento (no caso da água mineral, considera-se como sendo a massa do líquido contido na embalagem) e  $M_L$  é massa do lote L (multiplica-se a massa das embalagens pelo número de amostras recolhidas). A heterogeneidade de constituição de cada lote, que corresponde ao termo  $CH_L$  (Constitution Heterogeneity of Lot) foi calculada por meio da equação 4 a seguir (PITARD, 1993):

$$CH_L = s^2(h_i) = \frac{1}{N_F} \sum_i h_i^2 = N_F \sum_i \frac{(a_i - a_L)^2 M_i^2}{a_L^2 M_L^2} \quad (4)$$

Após o cálculo da heterogeneidade  $h_i$  e da heterogeneidade de constituição (CHL), foi calculada a o fator constante da heterogeneidade de constituição dos fragmentos de um lote –  $IH_L$  por meio da equação 5. Por meio da equação 5, foi determinada a variância do erro fundamental de amostragem (PITARD, 1993; GY, 2004a; GY, 2004b; GY, 2004c; GY, 2004d; GY, 2004e). Na equação 6, o termo corresponde à variância do erro fundamental de amostragem.

$$IH_L = \sum_{i=1}^n \frac{(m_i - \bar{x})^2}{(m_i)^2} \quad (5)$$

$$\text{Variância (EF)} = \sigma_{EF}^2 = \frac{IH_L}{M_L} \quad (6)$$

Finalmente, quando foi possível determinar a variância do erro fundamental de amostragem, foi possível calcular a Contribuição da Heterogeneidade de Constituição (CH ou CHL) conforme a equação 7, e também a contribuição do sill na variância de extensão conforme mostrado na equação 8.

$$\text{Contr. CH Ext} = \frac{\text{Variância (EF)}}{\text{Variância Relativa de Extensão}} \times 100 \quad (7)$$

$$\text{Contr. Ext. Sill} = \frac{\text{Variância Relativa de Extensão}}{\text{Variância Relativa dos dados}} \times 100 \quad (8)$$

Nas equações 7 e 8, o termo chamado variância relativa de extensão foi calculado conforme mostra a equação 9. Na equação 8, o termo chamado de variância relativa dos dados foi obtido dividindo-se a variância dos amostrais pelo quadrado da média dos dados amostrais conforme mostrado na equação 10.

$$\text{Variância relativa de extensão} = \frac{\text{variância de extensão para o intervalo de coleta } t}{300} \quad (9)$$

$$\text{Variância relativa dos dados} = \frac{\text{variância dos dados}}{(\text{média dos dados})^2} \quad (10)$$

A contribuição do erro de amostragem varia com a periodicidade da amostragem, ou seja, com o intervalo de coleta adotado na amostragem. A porcentagem da contribuição o erro de amostragem foi determinada por meio da equação 11:

$$\text{Contribuição erro de amostragem} = \frac{(100 - (\text{Contr. CH Ext.})) \times (\text{Contr. Ext.Sill})}{100} \quad (11)$$

Para os intervalos de coleta adotados foram calculados os erros absolutos cometidos, este erro consiste na diferença entre o maior valor obtido no intervalo t e o menor valor obtido no mesmo intervalo t, conforme a equação 12. O valor máximo obtido para o intervalo t e o mínimo obtido para o intervalo t foram calculados conforme as equações 13 e 14, respectivamente. A razão de se multiplicar a variância relativa por três deve-se ao fato de que foi feita a estimativa usando o intervalo de confiança IC=99,9%, conforme estabelecido na curva de Gauss (Montgomery & Runger, 2021).

$$\text{Erro absoluto} = (\text{valor máximo para periodicidade } t) - (\text{valor mínimo para periodicidade } t)$$

$$\text{valor máximo para periodicidade } t = \text{média} + (3 \times \sqrt{\text{variância relativa de extensão}} \times \text{média}) \quad (12)$$

$$\text{valor mínimo para periodicidade } t = \text{média} - (3 \times \sqrt{\text{variância relativa de extensão}} \times \text{média}) \quad (14)$$

Após este extenso tratamento dos dados das análises foram tabulados os resultados principais que serão mostrados e discutidos no próximo item.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados os cálculos de variância de extensão para t = 2 dias até t = 1024 dias, mas no processo de tomada de decisão quanto aos erros de amostragem foram levados em consideração apenas os seguintes intervalos de amostragem t = 2 dias; t = 128 dias; t = 180 dias (6 meses), t = 360 dias (1 ano) e t = 2048 dias (aproximadamente 68 meses ou 5,7 anos).

Os resultados obtidos para o erro absoluto e a contribuição do erro de amostragem para a Fonte Santo Antonio e para Fonte Verônica encontram-se na Tabela 1.

Os resultados obtidos para o erro absoluto não foram impactantes para os elementos

cálcio, cloreto e magnésio da Fonte Santo Antonio e da Fonte Verônica. Apenas para o sódio da Fonte Santo Antonio, o erro absoluto foi maior que 10% quando a frequência de coleta era igual a 6 meses.

Analisando-se a tabela 1, pode-se dizer que os resultados mais preocupantes foram os resultados da contribuição dos erros de amostragem para as duas fontes em questão. Para a **Fonte Santo Antonio**, os resultados obtidos da contribuição do erro de amostragem, com a periodicidade de coleta igual a 4 meses foram os seguintes: 34,55% (cálcio); 6,80% (cloreto); 42,61% (magnésio) e 7,51% (sódio). Para a **Fonte Verônica**, os resultados obtidos da contribuição do erro de amostragem, com a periodicidade de coleta igual a 4 meses foram os seguintes: 82,56% (cálcio); 70,78% (cloreto); 86,86% (magnésio) e 64,67% (sódio). Recomenda-se que o período de amostragem seja menor que menor que quatro meses em função da magnitude da contribuição dos erros de amostragem que foram obtidos para os elementos e que podem levar a resultados errados sobre a classificação das águas das fontes.

O anexo 13 da portaria nº 888 de potabilidade do Ministério de Saúde (BRASIL, 2021) não menciona qual deve ser a frequência de análise para os elementos químicos que foram objetos de estudo do presente trabalho: o cálcio, o cloreto, o magnésio e o sódio. O anexo 13 a portaria nº 888 menciona com destaque a frequência de amostragem de um elemento importante que é o fluoreto, nesta portaria fica bem claro que a frequência de amostragem deve ser igual a duas horas para os sistemas que realizam a fluoretação ou desfluoretação da água; no primeiro caso temos as torneiras de abastecimento das residências. Os demais sistemas, sistemas devem realizar o monitoramento de fluoret conforme a frequência definida para os demais parâmetros, que é semestral.

Se for adotada a frequência semestral que a portaria de potabilidade sugere para os parâmetros cálcio, cloreto, magnésio e sódio, cometeremos erros de amostragem muito grandes conforme mostrados na tabela 1 e mencionados anteriormente. Convém-se adotar a frequência de amostragem de 4 meses, pois a adoção da frequência de amostragem de 6 meses trará os seguintes erros de amostragem mostrados a seguir.

Para a **Fonte Santo Antonio**, os resultados obtidos da contribuição do erro de amostragem, com a periodicidade de coleta igual a 6 meses foram os seguintes: 52,34% (cálcio); 7,64% (cloreto); 64,03% (magnésio) e 16,30% (sódio). Para a **Fonte Verônica**, os resultados obtidos da contribuição do erro de amostragem, com a periodicidade de coleta igual a 6 meses foram os seguintes: 87,87% (cálcio); 81,64% (cloreto); 89,12% (magnésio) e 89,12% (sódio).

Os íons cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) apresentam limite químico mínimo de detecção na água subterrânea que é de 1 grama por litro, mas não apresentam valor máximo permitido (VMP). Para os íons magnésio e cálcio, a frequência de amostragem quando definida de forma errada, influi apenas na contribuição dos erros de amostragem conforme foi possível ver com o uso do Teoria de Pierre Gy que advém da indústria mineral

e foi usada aqui na indústria de águas envasadas.

Já com relação aos íons sódio ( $\text{Na}^+$ ) e cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), o íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) apresenta valor mínimo de detecção de 0,1 grama por litro tanto para o cloreto como para o sódio, para o cloreto valor máximo permitido é igual a 250 miligramas por litro e para o sódio 200 miligramas por litro.

Quando se tem a frequência de amostragem errada para os íons cloreto e sódio, além de termos altos erros de amostragem, corre-se o risco de obter-se amostras de águas subterrâneas (ou mesmo de água de outra origem que não seja subterrânea), onde os teores de sódio e cloreto sejam muito maiores do que os valores permitidos na legislação vigente. E uma forma de obter essas amostras com valores não permitidos de sódio e cloreto decorre também de erros de amostragem, que não serão discutidos aqui neste artigo.

Portanto, optou-se por adotar a frequência de amostragem de quatro meses para os parâmetros cálcio, cloreto, magnésio e sódio para a Fonte Santo e Fonte Verônica com base no estudo arcabouço da Teoria de Amostragem de Pierre Gy, com base na Uso da Geoestatística que é o comumente utilizado pela indústria mineral e também com base no estudo da legislação sobre amostragem de águas minerais vigente.

Cálcio				
Periodicidade	Fonte Santo Antonio		Fonte Verônica	
	Erro Absoluto (%)	Contribuição do Erro de Amostragem (%)	Erro Absoluto (%)	Contribuição do Erro de Amostragem (%)
2 em 2 dias	3,04	6,27	0,32	9,60
4 em 4 meses	5,70	34,55	0,81	82,56
6 em 6 meses	6,86	52,34	0,84	87,87
12 em 12 meses	8,26	78,05	0,87	95,83
68 em 68 meses	—	98,81	—	102,46

Cloreto				
Periodicidade	Fonte Santo Antonio		Fonte Verônica	
	Erro Absoluto (%)	Contribuição do Erro de Amostragem (%)	Erro Absoluto (%)	Contribuição do Erro de Amostragem (%)
2 em 2 dias	5,95	6,20	1,04	5,97
4 em 4 meses	6,11	6,80	2,76	70,78
6 em 6 meses	6,34	7,64	2,95	81,64
12 em 12 meses	8,97	19,59	3,22	98,00
68 em 68 meses	—	79,37	—	99,40

Magnésio				
Periodicidade	Fonte Santo Antonio		Fonte Verônica	
	Erro Absoluto (%)	Contribuição do Erro de Amostragem (%)	Erro Absoluto (%)	Contribuição do Erro de Amostragem (%)
2 em 2 dias	1,32	6,55	0,26	5,49
4 em 4 meses	2,68	42,61	0,75	86,86
6 em 6 meses	3,23	64,03	0,75	89,12
12 em 12 meses	3,69	85,22	0,76	94,55
68 em 68 meses	—	103,55	—	98,16

  

Sódio				
Periodicidade	Fonte Santo Antonio		Fonte Verônica	
	Erro Absoluto (%)	Contribuição do Erro de Amostragem (%)	Erro Absoluto (%)	Contribuição do Erro de Amostragem (%)
2 em 2 dias	8,16	4,66	0,84	4,73
4 em 4 meses	9,22	7,51	2,22	64,67
6 em 6 meses	11,90	16,30	2,31	70,58
12 em 12 meses	16,83	38,25	2,43	79,02
68 em 68 meses	—	86,78	—	96,75

Tabela 1. Erro Absoluto de Amostragem e Contribuição do Erro de Amostragem conforme a periodicidade de amostragem para a Fonte Santo Antonio e para a Fonte Verônica.

#### 4 | CONCLUSÕES

Com base na Teoria de Amostragem de Pierre Gy e com o Uso da Variância de Extensão da Geoestatística que vem sendo usada com muito sucesso pela indústria mineral, foi possível obter uma frequência de amostragem para os seguintes parâmetros de duas fontes de águas minerais envasadas: cálcio, cloreto, magnésio e sódio. A frequência de amostragem obtida foi igual a 4 meses. Na portaria de potabilidade n° 888 do ano de 2021, a frequência de amostragem para esses parâmetros seria igual a seis meses. A contribuição dos erros de amostragem para esses parâmetros seria inaceitável com uma frequência de amostragem igual a seis meses. A portaria n° 888 do Ministério da Saúde aplicada com a Teoria de Amostragem de Pierre Gy mais o Uso da Variância de Extensão permite garantir a potabilidade da água, pois garantiu um ajuste na periodicidade da amostragem desses parâmetros de qualidade da água e garantiu um rigor mais estatístico no processo de amostragem da água subterrânea.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. ANM – Agência Nacional de Mineração. Decreto-Lei nº 7841 - de 8 de agosto 1945 Código de Águas Minerais. Brasília, 1945. Disponível em: [https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/TematicaAction.php?acao=abrirVinculos&cotematica=10059295&cod\\_menu=6783&cod\\_modulo=405](https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/TematicaAction.php?acao=abrirVinculos&cotematica=10059295&cod_menu=6783&cod_modulo=405). Acesso em 18 de dezembro de 2021.

BRASIL. Departamento de Produção Mineral – DNPM. (National Department of Mineral Production). **Portaria nº 540**, de 18/12/2014, DOU de 19/12/2014. Brasília, DF: DNPM, 2014. Estabelece limites mínimos dos elementos dignos de nota, para a classificação das Águas Minerais. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=760>. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

BRASIL. ANM – Agência Nacional de Mineração. Portaria SEI nº 32 - de 29 de janeiro 2019 Brasília, 2019. Disponível em: [https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/TematicaAction.php?acao=abrirVinculos&cotematica=10059297&cod\\_menu=6783&cod\\_modulo=405](https://anmlegis.datalegis.inf.br/action/TematicaAction.php?acao=abrirVinculos&cotematica=10059297&cod_menu=6783&cod_modulo=405). Acesso em 12 de novembro de 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

DEUTSCH, C. V.; JOURNAL, A. G. GSLIB Geostatistical Software and User's Guide: Oxford University Press, New York, 1998, 369 pp.

GSLIB. Geostatistical Software Library. 2014. Disponível em: <http://www.gslib.com/>. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

GY, P. Sampling of discrete materials—A new introduction to the theory of sampling. I – Qualitative Approach. Chemom. Intell. Lab. Syst. 2004a, 74, 7–24.

GY, P. Sampling of discrete materials—A new introduction to the theory of sampling. II –Quantitative Approach – sampling of zero-dimensional objects Chemom. Intell. Lab. Syst. 2004b, 74, 25–38.

GY, P. Sampling of discrete materials—A new introduction to the theory of sampling. III – Quantitative Approach – sampling one-dimensional objects. Chemom. Intell. Lab. Syst. 2004c, 74, 39–47.

GY, P. Part IV – 50 years of Sampling Theory. Chemom. Intell. Lab. Syst. 2004d, 74, 49– 60.

GY, P. Part V – Annotate Literature Compilation of Pierre Gy. Chemom. Intell. Lab. Syst. 2004e, 74, 61–70.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros.7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021

PITARD, F.F. Pierre Gy's Sampling Theory and Sampling Practice, Second Edition: Heterogeneity, Sampling Correctness, and Statistical Process Control. 2. ed. CRC Press. 1993, 528 p.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496 p.

SARMA D. D., Geostatistics with Applications in Earth Sciences, Springer, 2009, 220 p.

SGeMS - Standford Geostatistical Modelling Software. Disponível em: <http://sgems.sourceforge.net/>. Acesso em 18 de dezembro de 2021.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Ação antrópica 39, 40, 47, 48, 49

Águas minerais 3, 11, 51, 52, 53, 58, 59, 60, 61, 62, 66, 71

Análisis energético 12

Aquíferos 1, 25, 28, 30, 31, 36

### B

Bactérias heterotróficas 3, 61, 62, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71

Biological parameters 1, 2, 6, 8

### C

Combustíveis líquidos 24

Conexões 40

### D

Deterioration 3, 1, 4, 10

### E

Energía solar 13

Estacion meteorologica 16, 17

Estações climáticas 63, 65, 67, 71

Evaporation 8

### F

Fontes de águas minerais 51, 52, 53, 59, 61, 62

Frequência de amostragem 51, 53, 57, 58, 59, 61, 62, 65, 70

### G

Geoestatística 51, 53, 54, 58, 59, 61, 62, 63

Geografia física 41, 49, 50, 73

Groundwater 1, 2, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 37, 38

### H

Hidrocarbonetos 3, 23, 24, 25, 28, 29, 37, 38

### I

Índice global 25

## **L**

Laboratory 5, 6, 7

Litoral norte brasileiro 42

## **M**

Manguezal 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49

Modelo 16, 21, 25, 27, 28, 53, 63

Multiparametric 5

## **N**

Nhartanda Valley 3, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10

## **P**

Paisagem 3, 39, 40, 41, 44, 46, 48, 49, 50

Parâmetros químicos 1, 51, 53

Perspectiva integrada 41

Phanerozoic sedimentary 3

Posto de revenda de combustível 23, 28, 29

## **Q**

Quaternário 26

## **R**

Radiación difusa 12, 21

Radiación global 12, 21, 22

Region 2, 3, 12, 14, 17, 21

Rios 23, 25, 26, 29, 30, 31, 33, 36, 42

## **S**

Substances 1, 7, 10

Susceptibilidade de contaminação 3, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37

## **T**

Teoria de amostragem de pierre gy 3, 51, 53, 58, 59

Teoria Geral dos Sistemas 39, 40, 41

Tete and Mozambique 1

## **V**

Variaciones 21

Variância de extensão 3, 51, 53, 54, 55, 56, 61, 62, 63, 64, 65, 71

Vegetación 13

# GEOCIÊNCIAS:

## A história da terra

# 2

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# GEOCIÊNCIAS:

## A história da terra

# 2

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 