



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
PRO-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
COLEGIADO DO CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

**GUSTAVO DOS SANTOS MARQUES
WANDERLENA MALAQUIAS DA GAMA**

FLUXO DE SILÍCIO(SI), FERRO(FE), E ALUMÍNIO(AL) NA DESEMBOCADURA NORTE
DO RIO AMAZONAS EM DIFERENTES PERÍODOS SAZONAIS E SUAS
CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO

MACAPÁ-AP
2026

**GUSTAVO DOS SANTOS MARQUES
WANDERLENA MALAQUIAS DA GAMA**

**FLUXO DE SILÍCIO(SI), FERRO(FE), E ALUMÍNIO(AL) NA DESEMBOCADURA NORTE
DO RIO AMAZONAS EM DIFERENTES PERÍODOS SAZONAIS E SUAS
CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Colegiado do Curso de Licenciatura em
Química, como requisito final da disciplina
TCC II para obtenção do grau de
Licenciados em Química
Área de Concentração: Ensino de Química
Orientador: Prof. Dr. Joel Estevão de Melo
Diniz

MACAPÁ-AP
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Cristina Fernandes – CRB-2 / 1569

G184f Gama, Wanderlana Malaquias da.
Fluxo de Silício(Si), Ferro(Fe), e Alumínio(Al) na desembocadura norte do rio Amazonas em diferentes períodos sazonais. / Gustavo dos Santos Marques, Wanderlana Malaquias da Gama. - Macapá, 2026.
1 recurso eletrônico.
40 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá (UNIFAP),
Coordenação do Curso de Licenciatura em Química, Macapá, 2026.
Orientador: Prof. Dr. Joel Estevão de Melo Diniz.

Modo de acesso: World Wide Web.
Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Química analítica. 2. Água - Análise. 3. Rio Amazonas. I. Prof. Dr. Joel Estevão de Melo Diniz, orientador. II. Universidade Federal do Amapá (UNIFAP). III. Título.

CDD 23. ed. – 543

GAMA, Wanderlana Malaquias da; MARQUES, Gustavo dos Santos. **Fluxo de Silício(Si), Ferro(Fe), e Alumínio(Al) na desembocadura norte do rio Amazonas em diferentes períodos sazonais**. Orientador: Prof. Dr. Joel Estevão de Melo Diniz. 2026. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Licenciatura em Química. Universidade Federal do Amapá (UNIFAP), Macapá, 2026.


**GUSTAVO DOS SANTOS MARQUES
WANDERLENA MALAQUIAS DA
GAMA**

**FLUXO DE SILÍCIO(SI), FERRO(FE), E ALUMÍNIO(AL) NA DESEMBOCADURA NORTE
DO RIO AMAZONAS EM DIFERENTES PERÍODOS SAZONAIS E SUAS
CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO**


Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Colegiado do Curso de
Licenciatura em Química, como requisito
final da disciplina TCC II para obtenção do
grau de Licenciatura em Química
Área de Concentração: Ensino de Química
Orientador: Prof. Dr. Joel Estevão de Melo
Diniz

DATA DE APROVAÇÃO: 28/02/2026

Prof. Dr. Joel Estevão de Melo Diniz - Orientador - UNIFAP.

Documento assinado digitalmente
 **LUCIANE BARROS SILVA**
Data: 28/03/2026 12:36:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Ma. Luciane Barros Silva - Membro 01 - UNIFAP.

Documento assinado digitalmente
 **CASSIANE DA SILVA VIDEIRA**
Data: 28/03/2026 12:21:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Ma. Cassiane da Silva Videira - Membro 02 - UNIFAP.

Dedico esse trabalho à DEUS, a minha família e a todos que contribuíram direta e indiretamente para que esse momento acontecesse.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradece-se a Deus pela força, perseverança e sabedoria concedidas ao longo de toda esta caminhada.

Aos pais, que, mesmo diante das dificuldades, sempre acreditaram no potencial de seus filhos e ofereceram apoio incondicional para a concretização deste objetivo. Aos irmãos e irmãs, pela confiança depositada e pelo incentivo constante ao longo dessa trajetória.

Aos colegas de curso, que compartilharam esta jornada acadêmica e contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta conquista.

Ao companheiro e ao filho, cujos apoio, compreensão e esperança em um futuro melhor fortaleceram a dedicação necessária para a conclusão desta etapa.

Aos professores Alex Lobato, Kelton Belém, Alex Oliveira, Irlon Maciel, Alexandro Florentino, Joaquina Malheiros, David Jimenez, Claudio Pinheiro, Selma Melo e Victor Marinho, bem como a todos que contribuíram para a formação acadêmica, registra-se sincera gratidão.

As professoras Luciane Barros Silva e Cassiane da Silva Videira, pela gentil participação na avaliação deste trabalho, expressam-se agradecimentos especiais.

De modo particular, ao Prof. Dr. Joel Estevão de Melo Diniz, pela orientação dedicada, incentivo constante e confiança demonstrada durante todo o desenvolvimento desta pesquisa, registram-se os mais profundos agradecimentos.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste trabalho, manifesta-se o mais sincero reconhecimento e gratidão.

RESUMO

O rio Amazonas, com suas dimensões continentais, apresenta particularidade em relação a composição de suas águas, buscando conhecer melhor a composição da água do maior rio do mundo, esta pesquisa objetivou conhecer a descarga hídrica ou vazão de água, assim como o fluxo dos elementos Silício (Si), Ferro (Fe) e Alumínio (Al) influenciados pela sazonalidade (verão e inverno amazônico) no canal norte do baixo rio Amazonas e a contribuição desses elementos do rio para o oceano. As coletas de amostras de água para análise de Fe, Si e Al do baixo rio Amazonas foram realizadas no canal norte do rio Amazonas entre a cidade de Macapá no estado do Amapá e a ilha do Marajó usando técnicas analíticas da AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), para a realização das análises dos elementos Fe, Si, e Al foi usado a combinação dos equipamentos Cromatografia Iônica e Espectroscopia de Emissão Óptica com Plasma Acoplado. Os resultados obtidos mostraram uma diferença significativa da massa de água que o rio Amazonas manda para o oceano atlântico isso deve-se pelo período chuvoso ou inverno amazonico que ocorre no primeiro semestre em relação ao segundo semestre período de menos chuva, mais quente ou verão amazônico, entre os elementos analisados o silício é o que apresenta maior concentração do que o ferro e alumínio isso deve-se pela formação do solo da região amazônica.

PALAVRAS CHAVES: Ferro, Silício, Alumínio, Rio Amazonas, Período Sazonal

ABSTRACT

The Amazon River, with its continental dimensions, presents a unique composition of its waters. Seeking to better understand the composition of the water of the world's largest river, this research aimed to determine the water discharge or flow rate, as well as the flux of the elements Silicon (Si), Iron (Fe), and Aluminum (Al) influenced by seasonality (Amazonian summer and winter) in the northern channel of the lower Amazon River, and the contribution of these river elements to the ocean. Water samples for Fe, Si, and Al analysis were collected from the lower Amazon River in the northern channel between the city of Macapá in the state of Amapá and Marajó Island using analytical techniques from the American Public Health Association (APHA). For the analysis of Fe, Si, and Al, a combination of Ion Chromatography and Plasma Optical Emission Spectroscopy equipment was used. The results showed a significant difference in the amount of water the Amazon River sends to the Atlantic Ocean. This is due to the rainy season or Amazonian winter, which occurs in the first half of the year, compared to the second half, a period of less rain and warmer temperatures, or the Amazonian summer. Among the elements analyzed, silicon showed the highest concentration, surpassing iron and aluminum. This is likely due to the soil formation in the Amazon region.

KEYWORDS: Iron, Silicon, Aluminum, Amazon River, Seasonal Period

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Coordenadas dos pontos onde foram realizadas as medidas/coletas. 16.

Tabela 02 : Dados da coleta de vazão, Si, Fe e Al obtidos nos diferentes períodos sazonais. 17

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Mapa com ponto específico de coletas entre a cidade de Macapá-AP e a Ilha do Marajó na foz do rio Amazonas..... 16

Figura 02: Perfil do canal de Norte do rio Amazonas entre a cidade de Macapá-AP e a ilha do Marajó-Pa 18

Figura 03: Dados do descarga hídrica ou vazão (Q) registrado no período da coleta do verão amazônico (VA) e inverno amazônico (IA). 19

Figura 04: Dados do elemento Ferro (Fe) registrado no canal norte do rio Amazonas no período da coleta durante o verão amazônico (VA) e inverno amazônico (IA)... 20

Figura 05: Dados do elemento silício (Si) registrado no período da coleta do verão amazônico (VA) e inverno amazônico (IA)..... 21

Figura 06: Dados do elemento alumínio (Al) registrado no período da coleta do verão amazônico (VA) e inverno amazônico (IA)..... 22

Figura 07: Ferro em estado bruto. 24

Figura 08: Silício (Si) no estado sólido depois de processado.28

Figura 09: alumínio em estado solido já processado..... 32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVO.....	12
2.1 Geral.....	12
2.2 Específicos.....	12:
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
<i>Área de estudo.....</i>	<i>15</i>
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	17
5.1 Vazão (Q).....	17
5.2 Ferro.....	19
5.3 Silício.....	20
5.4 Alumínio.....	22
5.5 Ferro, Silício e Alumínio e o Ensino de Química.....	23
5.5.1 Conhecendo o elemento Ferro (Fe).....	23
5.5.2 Conhecendo o elemento Silício (Si).....	27
5.5.3 Conhecendo o elemento Alumínio (Al).....	31
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do Amazonas é a mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, ramificando-se por todos os países do norte da América Latina, desde os sopés andinos até o Oceano Atlântico (Eva; Huber, 2005), contando com 25.103 km de rios navegáveis em cerca de 7.106 de km², dos quais 3,8.106 estão no Brasil (Val et al., 2010; IBGE, 2007). Portanto, esta bacia continental estende-se por quase todo o norte da América do Sul, concentrando aproximadamente 63 % de sua extensão em território brasileiro (Kohlhepp, 2002). Dada a dimensão continental da bacia amazônica, sua escala hidrográfica exige normalmente uma abordagem complexa sobre os processos biogeoquímicos da água, bem como suas interações com a paisagem e a atmosfera.

Somente o rio Amazonas, o maior rio do mundo em extensão e volume (INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2008), despeja no Atlântico Norte Tropical Ocidental (WTNA) mais de seis trilhões de metros cúbicos de água por ano (Perry; Duffy; Miller, 1996), água doce rica em nutrientes transportados da floresta para o oceano. Em grande parte, todo esse volume se deve às intensas precipitações que ocorrem na Amazônia Oriental, as quais variam entre 2000 e 3000 mm de chuva/ano (Bárbara et al., 2010; Costa et al., 2013; Souza; Rocha; Sousa, 2008; Souza et al., 2009). A falta de dados biogeoquímicos e a medida do fluxo hidrodinâmico ou poucas informações sobre os constituintes hidroquímicos que compõem o Rio Amazonas em sua desembocadura ou canal norte, justifica minha pesquisa em complementar os estudos de pesquisa já realizados no médio e alto Rio Amazonas, abrangendo áreas de amostragem do maior rio do mundo

Além destes aspectos relacionados com a dimensão da área de drenagem (mesoescala), o ciclo sazonal de descarga dos rios também apresenta diferenças que dependem da localização geográfica da bacia (Cunha et al., 2012). A Amazônia apresenta um regime sazonal completamente distinto entre suas diferentes sub-regiões, com uma variação em torno de 50% na precipitação entre as sub-regiões sul, leste, extremo norte (2000 mm) e noroeste (3000 mm), sendo que a estação chuvosa parece progredir do sul para o norte (entre setembro e abril, respectivamente). Além disso, existe uma defasagem geoespacial entre o período de maior precipitação e o período de maior vazão dos rios (Liebmann; Marengo, 2001), sendo ainda a variabilidade climática um fator sazonal relevante que imprime diferentes respostas hidrológicas às bacias com diferentes dimensões (Ambrizzi et al., 2013; Souza; Kayano; Ambrizzi, 2005).

A falta de dados biogeoquímicos e a medida do fluxo hidrodinâmico ou poucas informações sobre os constituintes hidroquímicos que compõem o Rio Amazonas em sua desembocadura ou canal norte, justifica minha pesquisa em complementar os estudos de pesquisa já realizados no médio e alto Rio Amazonas, abrangendo áreas de amostragem do maior rio do mundo

Esta pesquisa tem como objetivo conhecer o fluxo Ferro (Fe), Silício (Si) e Alumínio (Al) influenciados pelos diferentes períodos hidrógrafos ou sazonais no canal norte do baixo rio Amazonas entre a cidade de Macapá o estado do Amapá e a ilha do Maraó no estado do Pará, além de complementar estudos já realizados no médio e alto rio Amazonas, melhorando a série histórica de dados, como uso de novas técnicas e metodologias de análises de água e sedimentos, auxiliando diferentes áreas de conhecimento no entendimento da dinâmica e composição do rio Amazonas.

2. OBJETIVO

2.1 Geral

Investigar a influência sazonal dos fluxos da descarga hídrica, de silício (Si), ferro (Fe) e alumínio (Al) no canal norte do baixo rio Amazonas e sua contribuição para o oceano.

2.2 Específicos:

- ❖ Analisar a carga hídrica ou vazão que o rio Amazonas manda pelo canal norte para o oceano.
- ❖ Determinar no canal norte do rio Amazonas o fluxo de silício (Si), ferro (Fe) e alumínio (Al) influenciado pelo verão e inverno amazônico.
- ❖ Mostrar a importância dos elementos químicos Ferro (Fe), Silício (Si) e Alumínio (Al) no ensino de química

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Há alguns estudos disponíveis sobre o fluxo de carbono e ciclos biogeoquímicos envolvendo diversos parâmetros ambientais no rio Amazonas (Alin et al., 2011; Devol; Hedges, 2001; Devol et al., 1995; Hedges et al., 1986; Richey et al., 1990, 2002). Contudo, estes estudos são frequentemente localizados na porção média e alta rio Amazonas, geralmente alcançando até a última estação de medidas de descarga, em Óbidos no Estado do Pará, localizada aproximadamente a 800 km a montante da desembocadura do rio. Na outra extremidade do baixo estuário amazônico, com exceção de poucos estudos off shore na plataforma continental do Amazonas e Oceano Atlântico (Nittrouer et al., 1995), também estes estudos são raros e antigos com relação a biogeoquímica próxima da desembocadura (Gibbs, 1972; Nittrouer et al., 1995; Stallard; Edmond, 1983).

Como resultado, há várias lacunas de conhecimento sobre este trecho do Continuum do Rio Amazonas até o Oceano Atlântico. Deste modo, há necessidade de obter desde dados básicos, como os parâmetros de qualidade da água, até parâmetros empíricos que vinculem os primeiros aos processos biogeoquímicos desses ecossistemas aquáticos, de modo que se vislumbre conceitualmente o funcionamento destes processos naturais. Neste sentido, os

principais elementos ecossistêmicos funcionais devem ser entendidos de modo integral, haja vista que existe uma desconhecida e complexa rede de conexões que controla os fluxos de massa e energia nos sistemas terra-água-atmosfera destes ambientes (Mcclain; Elsenbeer, 2001). Além disso, tais conexões dos ecossistemas estão intimamente relacionadas com a preocupação atual sobre as emissões de gases de efeito estufa no contexto de mudanças climáticas (Ward et al., 2013), as quais dependem destes processos neste intrincado ecossistema aquático.

Deste modo, as incertezas presentes dos processos biogeoquímicos que governam simultaneamente a dinâmica das emissões de CO₂ do baixo rio Amazonas são de relevante interesse atual e global. Por exemplo, até recentemente não havia uma definição do papel das macromoléculas presentes na água, como a lignina e a celulose, como os principais agentes da respiração de bactérias presentes no meio líquido. Somente esta descoberta pode ser determinante no modo de pensar a parametrização de modelos numéricos de estimativas de emissões na biosfera (Ward et al., 2013).

Apesar de se reconhecer que informações químicas sobre o referido trecho também são escassos (Richey et al., 2000), é preciso considerar o efeito do período de deslocamento médio de uma pluma na superfície, estimada como da ordem de 10 dias. Este é provavelmente o tempo em que as atividades microbianas mais significativas podem ocorrer no corpo d'água (Krusche et al., 2002). Neste processo de biodegradação o transporte físico de materiais no escoamento (advectivo-difusivo, dependente do ciclo hidrológico), provavelmente ocorre em simultaneidade, por exemplo, com a degradação biológica da lignina e de macromoléculas associadas, as quais são dependentes da cinética de reação nestes ambientes.

Portanto, neste processo combinado envolvendo a advecção-difusão de massa no escoamento turbulento em simultaneidade às reações biogeoquímicas complexas, uma fração significativa destes compostos é, eventualmente, remineralizada à dióxido de carbono. Por exemplo, com base no entendimento de que as macromoléculas terrestres e de outros derivados de lignina contribuem significativamente para a emissão de dióxido de carbono das águas do rio Amazonas (Ward et al., 2013), os rios passaram a apresentar um papel relevante que muda a perspectiva atual e a compreensão acerca dos ciclos biogeoquímicos regionais e globais (Victoria, 2012).

A importância de se conhecer a dinâmica biogeoquímica do Rio Amazonas, no seu Continuum, ocorre pelo fato que esta bacia é detentora da maior oferta de água doce do mundo com 8% do total (20% da descarga líquida nos oceanos em nível mundial), representando a maior disponibilidade de recursos hídricos do Brasil. A avaliação do funcionamento dos fluxos nestes ambientes é estratégico do ponto de vista científico, uma vez que os parâmetros amostrados nestes ambiente podem ser estatisticamente representativos entre os processos biogeoquímicos envolvidos em rios tropicais de todo o mundo, tanto pelo

seu volume de descarga quanto pela sua megabiodiversidade (Hanan; Batalha, 1995).

Por exemplo, no trecho em estudo o período de maior precipitação ocorre geralmente entre março e abril enquanto a resposta de maior vazão ocorre nos meses de junho e julho. Este efeito é determinado predominantemente, pelo tempo de residência da água no solo já saturado, nas áreas inundáveis (várzeas e igapós) e nos canais. Mas as magnitudes destes fluxos basais estão relacionadas às meso dimensões das bacias de drenagem, as quais contribuem com diferentes tempos de retorno ao escoamento dos principais rios da região. Portanto, as variações sazonais de cheia e seca e transição, entre os rios de diferentes regiões da bacia Amazônica ocorrem em períodos significativamente distintos, com defasagem de até 3 meses no período de maior vazão entre os rios que drenam o Sul (pico de descarga em Março-Abril) e o Norte da bacia (pico de descarga em Junho-Julho) (Alin et al., 2011).

Então, dois fatores relevantes interferem significativamente na qualidade da água de um rio: o espacial e o sazonal. O fator espacial está associado à localização geográfica dos usos impactantes como as áreas agrícolas, indústrias, hidrelétricas e centros urbanos (fontes pontuais ou difusas). Já o fator sazonal está associado às variações de pluviosidade e resposta hidrológica em termos de vazão, as quais interferem em variáveis como pCO_2 , OD, pH, turbidez, e sólidos em suspensão. Quando as influências são antropogênicas, a intensidade normalmente é medida com as alterações no solo e na água (e até atmosférica) e tem sua magnitude e abrangência reguladas pelo tipo de atividade desenvolvida e pela forma como é conduzida (Almeida; Schwarzbald, 2003). Quando as influências são naturais, a intensidade dependerá tanto das características físicas da bacia, como a densidade da sua malha hídrica e da dimensão dos seus principais afluentes, assim como da variabilidade sazonal das precipitações distribuídas na área de escala de estudo envolvida (Cunha et al., 2011).

Por exemplo, o trecho do baixo Rio Amazonas recebe água de diferentes tributários, sendo os maiores o Rio Tapajós, o Rio Xingu e o Rio Tocantins e vários outros "menores", com composições químicas e comunidades microbianas possivelmente muito diferentes entre si. Quantidades consideráveis de sedimento também parecem ser depositadas ao longo do percurso do trecho do baixo Rio Amazonas, potencialmente removendo material orgânico e nutrientes do fluxo superficial. O resultado é que há pouca informação da verdadeira carga química para o oceano.

No rio Amazonas os principais processos físicos e biogênicos que controlam a pCO_2 na água são: a lixiviação de CO_2 do solo originado pela respiração radicular e decomposição da matéria orgânica, a respiração in situ, a fotossíntese das plantas aquáticas, e a evasão de CO_2 a partir da água para o ar. Os dois primeiros processos contribuem para o aumento da pCO_2 na água, enquanto que os dois últimos processos podem ser responsáveis pela diminuição da pCO_2 (Benner et al., 1995; Johnson et al., 2008; Leite et al., 2011; Richey et al., 2002).

Além da $p\text{CO}_2$, a composição química da água dos rios é regulada por processos que ocorrem genuinamente no solo. Em seguida, o $p\text{CO}_2$ pode posteriormente ser percolado para o lençol freático e se misturar com o fluxo de sólidos, íons e gases nos corpos d'água pelo fluxo basal (Neu; Neill; Krusche, 2011). Além disto, dentro do canal principal do rio, processos bióticos e abióticos podem modificar a $p\text{CO}_2$. Desta forma, a $p\text{CO}_2$ nas águas dos rios é resultado de processos que ocorrem tanto nos ecossistemas aquáticos superficiais ou subterrâneos quanto no solo dos ambientes terrestres.

Bons exemplos destas variações são a dinâmica de nutrientes, da riqueza e da distribuição de biomassa algal, além dos processos de sedimentação, erosão, acreação, variação espaço-sazonal de íons e demais parâmetros da qualidade da água, capacidade de renovação das águas e reaeração atmosférica. Nestes processos estão intimamente envolvidos o potencial da intensificação de emissões de gases de efeito estufa para atmosfera que são extremamente relevantes à superação das lacunas de conhecimentos existentes nos ecossistemas aquáticos amazônicos (Cunha et al., 2012; Richey, 2005).

Estes fatos justificam a aquisição de informação de longo prazo para permitir e estabelecer o nível de influência de cada processo biogeoquímico e sua relação com os diversos tipos de entradas em processos de modelagem numérica. Este fato é relevante quando se consideram as escalas em que não são efetivamente compreendidos os processos de interesse. A compreensão sobre os mecanismos e a magnitude das variações dos ciclos biogeoquímicos do Continuum do baixo Rio Amazonas é, portanto, um desafio atual e de eminente interesse regional e global (Victoria, 2012). Em especial, há o interesse sobre trecho fluvial do Continuum do rio denominada zona estuarina do baixo Rio Amazonas que interage diretamente com o Oceano Atlântico. Considera-se como fatores importantes para a presente investigação o conceito sobre o funcionamento geral dos sistemas aquáticos presentes nestes ambientes (McClain; Elsenbeer, 2001).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo tem clima tropical com elevada umidade e temperatura variando entre 22°C a 34°C, verões quentes e seco com pouca chuva na região e temperatura média de 30°C, o inverno amazônico é caracterizado por um período de alta pluviosidade com chuva diárias e clima mais ameno devido a vegetação densa e temperatura com média de 24°C. As populações das principais cidades estão assim distribuídas: Manaus com 2.094.391 habitantes, Macapá 465.495 habitantes, Santarém 294.447 habitantes, Parintins 112.716 habitantes, Altamira 109.938 habitantes, Itaituba 98.485 habitantes e Óbidos 50.596 habitantes (BRASIL, 2017). Nesses municípios não existem sistemas de tratamento de águas residuais, logo essas águas são lançadas diretamente nos rios.

As coletas de amostras de água serão realizadas no mês de Dezembro de 2024 e e

março de 2025 no canal norte entre a cidade de Macapá, estado do Amapá e a ilha do Marajó, comparandas aos resultados aos dos estudos já realizados de julho de 2015 e fevereiro de 2016 (Diniz. J. E.M, 2018), realizadas ao longo do baixo rio Amazonas, sendo o limite a montante para o estudo a estação de medição hidrológica de Óbidos, no estado do Pará, adentrando nos rios Tapajós e Xingu, e o limite a jusante o canal norte próximo a cidade de Macapá, estado do Amapá e o canal sul entre a cidade de Macapá e a ilha do Marajó próximo a cidade de Afuá, no estado do Pará em um trecho de proximadamente 970 km (Tab. 01, fig.)

Figura 01. Mapa com ponto específico de coletas entre a cidade de Macapá-AP e a Ilha do Marajó na foz do rio Amazonas



Fonte: Google Earth

Tabela 01. Coordenadas dos pontos onde foram realizadas as medidas/coletas.

Local de coleta	Coordenada	
Rio Amazonas – Canal norte	S 00°02'872"	W 051°04'616"

Fonte: Gama e Marques, 2026

As técnicas analíticas utilizadas nas análises das amostras coletadas no rio Amazonas foram adaptadas pelos pesquisadores do grupo tendo como base as técnicas da American Public Health Association (APHA, 1999). A seção de amostragem, para cada parâmetro, são coletadas duas amostras, uma na superfície a aproximadamente, 50 centímetros do d'água e outra a 60% da profundidade total medida a partir da superfície. O perfil de profundidade e ponto exato de coleta das amostras do rio foi medido com o ecobatímetro Garmin GPS 420.

As análises químicas das amostras do Alumínio, Ferro e Silício foram feitas com uma combinação de cromatografia iônica (Dionex DX-500), espectroscopia de emissão óptica com plasma acoplado (ICP-OES, Jobin Yvon Horiba, ULTIMA2)

As análises serão realizadas no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Centro de Energia Nuclear em Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo, campus Piracicaba-

SP e no Laboratório de Química e Saneamento Ambiental (UNIFAP).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As coletas foram realizadas no canal norte a cerca de 3 Km da margem esquerda do rio Amazonas próxima a cidade de Macapá na parte da superfície com 30 cm do espelho d'água e no fundo com 60% da profundidade total do rio. Após realizadas as coletas nos dias 15.09.2021 e 12.02.2020, as amostragens foram encaminhadas para análise no laboratório da UNIFAP e CENA, os resultados obtidos foram anotados (Tab. 02)

Tabela 02 : Dados da coleta de vazão, Si, Fe e Al obtidos nos diferentes períodos sazonais

Local Margem Esquerda	Data	Periodo Sazonal	Q (m ³ .s ⁻¹)	Si (mg/L)	Fe (mg/L)	Al (mg/L)
Superfície	15/09/2021	Verão amazônico	68413	7,313	0,410	0,250
Fundo	15/09/2021	Verão amazônico	68413	6,260	0,676	0,443
Superfície	12/02/2020	Inverno amazônico	134643	5,912	0,436	0,312
Fundo	12/02/2020	Inverno amazônico	134643	5,643	0,356	0,261

Fonte: Gama e Marques, 2026

O trecho em estudo do Rio Amazonas apresentou diferença significativa em relação ao seu nível de pluviosidade. A região apresenta dois períodos climáticos distintos: inverno amazônico, ocorrendo de janeiro a junho, com máxima de 450 mm nos meses de março e abril, e um verão amazônico seco (menos chuvoso), onde pode haver redução significativa no nível pluviométrico, atinge um mínimo de 26 mm. Os totais pluviométricos apresentaram média entre 2.500 mm ano⁻¹ e 3.000 mm ano⁻¹, nos períodos de coleta a temperatura média mensal do ar foi de, aproximadamente, 26,0 ± 0,4°C, com máxima de 32 ± 0,7°C e mínima de 22,0 ± 0,3°C (COSTA et al., 2013).

5.1 Vazão (Q)

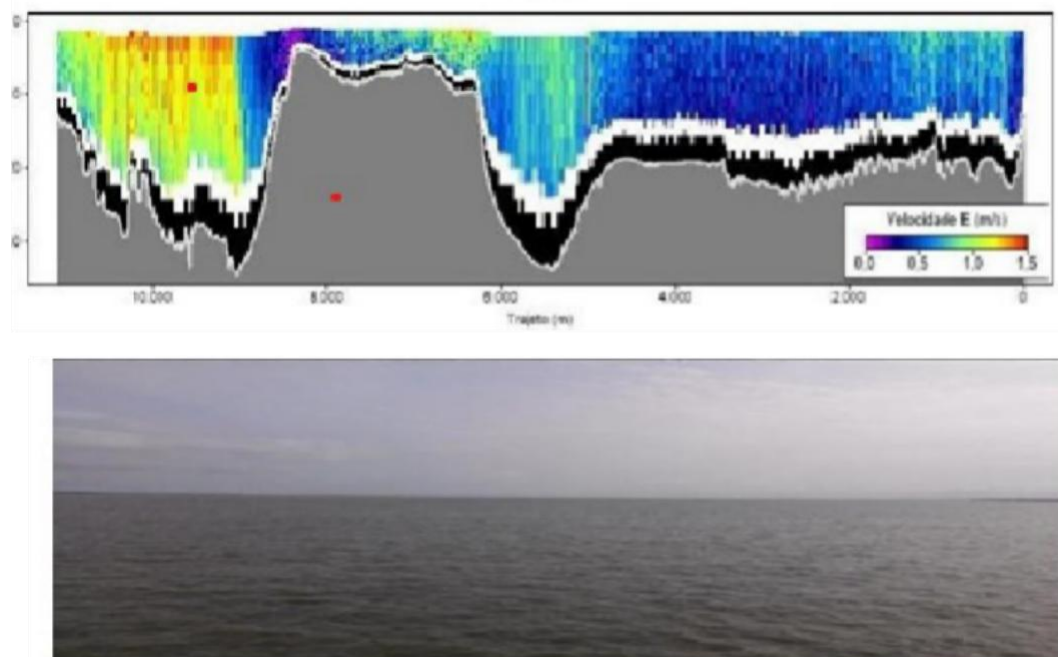
Na primeira coleta realizada em 12 de fevereiro de 2020 , período de estiagem ou verão amazônico que tem com principal característica, elevada temperatura e pouca chuva na região o fluxo hídrico ou vazão média registrada no canal norte do rio Amazonas foi de aproximadamente 68.413 m³.s⁻¹ ou 5.910.883.200 m³ em um dia, já o volume hídrico registrado na coleta realizada no dia 15 de setembro de 2020 onde o índice pluviométrico é elevado, o que caracteriza o inverno amazônico, foi de

$134.643 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ou $11.633.155.200 \text{ m}^3$ em um dia.

O trecho em estudo do Rio Amazonas apresentou diferença significativa em relação ao seu nível de pluviosidade. A região apresenta dois períodos climáticos distintos: inverno amazônico, ocorrendo de janeiro a junho, com máxima de 450 mm nos meses de março e abril, e um verão amazônico seco (menos chuvoso), onde pode haver redução significativa no nível pluviométrico, atinge um mínimo de 26 mm. Os totais pluviométricos apresentaram média entre $2.500 \text{ mm ano}^{-1}$ e $3.000 \text{ mm ano}^{-1}$, nos períodos de coleta a temperatura média mensal do ar foi de, aproximadamente, $26,0 \pm 0,4^\circ\text{C}$, com máxima de $32 \pm 0,7^\circ\text{C}$ e mínima de $22,0 \pm 0,3^\circ\text{C}$ (COSTA et al., 2013).

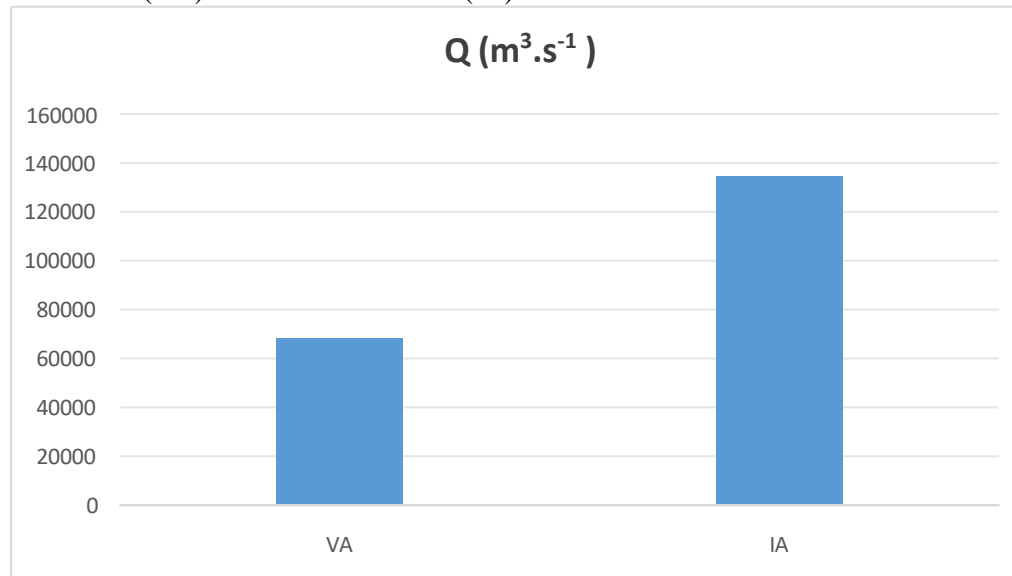
A vazão do Rio Amazonas pode estar relacionada ao perfil do cada canal analisado durante o período de coleta, pois o canal sul apresenta perfil bastante distinto. Em Macapá o canal Norte apresenta distância entre as margens de 12,5 km e profundidade de 34 m (período cheio) e 20 m (período seco) (Fig. 02) (Diniz, 2018). Os valores do fluxo hídrico (fig. 03) no período de inverno podem ser menores haja visto que o mês de outubro o índice pluviométrico na região é zero podendo reduzir mais ainda o valor da vazão no rio, assim como a massa hídrica no primeiro semestre que pode aumentar pois o mês de março e abril o índice de chuva é o maior registrado durante o ano na região.

Figura 02: Perfil do canal de Norte do rio Amazonas entre a cidade de Macapá-AP e a ilha do Marajó-Pa.



Fonte: Diniz, 2018

Figura 03: Dados do descarga hídrica ou vazão (Q) registrado no período da coleta do verão amazônico (VA) e inverno amazônico (IA)



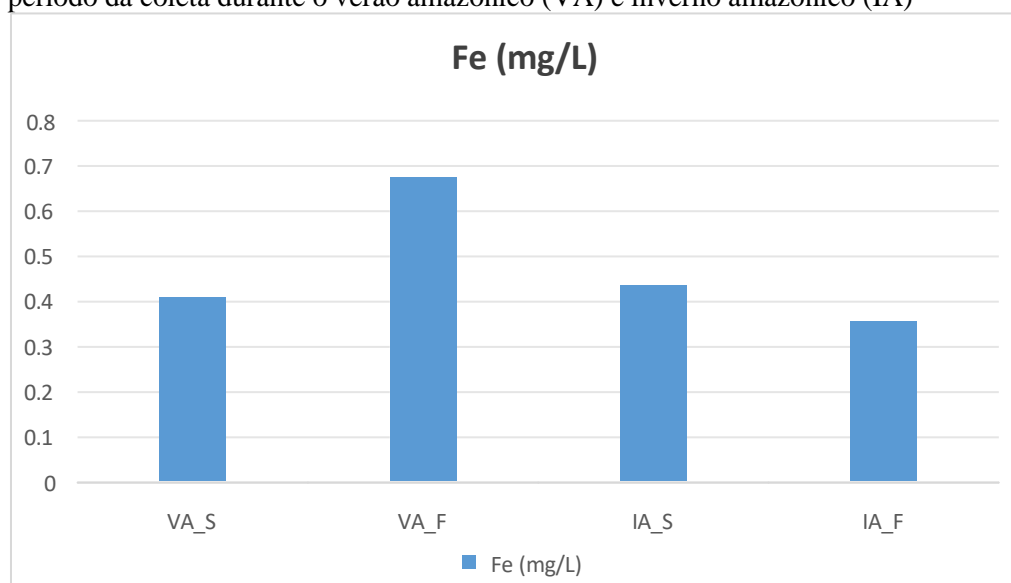
Fonte: Gama e Marques, 2026

Os valores anotados nas coletas realizadas em fevereiro/2020 (período cheio) e setembro de 2020 (período seco) do Rio Amazonas indica que essa vazão pode sofrer alteração, haja visto que o período de maior volume pluviométrico na região e em março e abril, da mesma forma em relação a vazão no período de menor intensidade pluviométrica, que se encontra no mês de outubro podendo alterar significadamente a descarga hídrica no canal norte. A velocidade aumentou pela força do escoamento e compensação de áreas (área menor). Mas, de fato, tende a ser maior quando a profundidade é maior e onde há maior turbulência, influenciando diretamente na dinâmica local do fluxo de água do rio num dado momento (CUNHA et al. 2012).

5.2 Ferro

No período da coleta do inverno amazônico o fluxo de ferro (fig. 04) presente a 30 cm na superfície ou espelho d'água do canal norte do rio Amazonas registrou uma concentração de 0,436 mg.L⁻¹ ou 2.577.145,0752 mg.m⁻³, já para análise da amostragem em relação a profundidade a 60% (20,4 m) do total de profundidade do rio que foi de 34 metros, o valor foi de 0,356 mg.L⁻¹ ou 2.104.256,619,mg.m⁻³ Já no verão amazônico nossas amostragem registraram uma concentração de 0,410 mg.L⁻¹ ou 4.769.593.632 mg.m⁻³ na superfície e 0,676 mg.L⁻¹ ou 11.633.155,200 mg.m⁻³ na profundidade (60% (12,5 m)) do rio Amazonas ao longo do dia.

Figura 04: Dados do elemento Ferro (Fe) registrado no canal norte do rio Amazonas no período da coleta durante o verão amazônico (VA) e inverno amazônico (IA)



Fonte: Gama e Marques, 2026

O ferro (Fe), metal pesado, foi encontrado com baixa concentração nos canais analisados, foi encontrado, principalmente, na forma de sais férricos e ferrosos, como cloretos e sulfatos, bastante solúveis na água, já que são facilmente oxidados em águas naturais de superfície, formando hidróxidos férricos insolúveis, favorecendo a floculação/decantação ou serem adsorvidos superficialmente, razão pela qual há ocorrência de sais de ferro em águas superficiais (Macedo, 2003, Diniz, 2018).

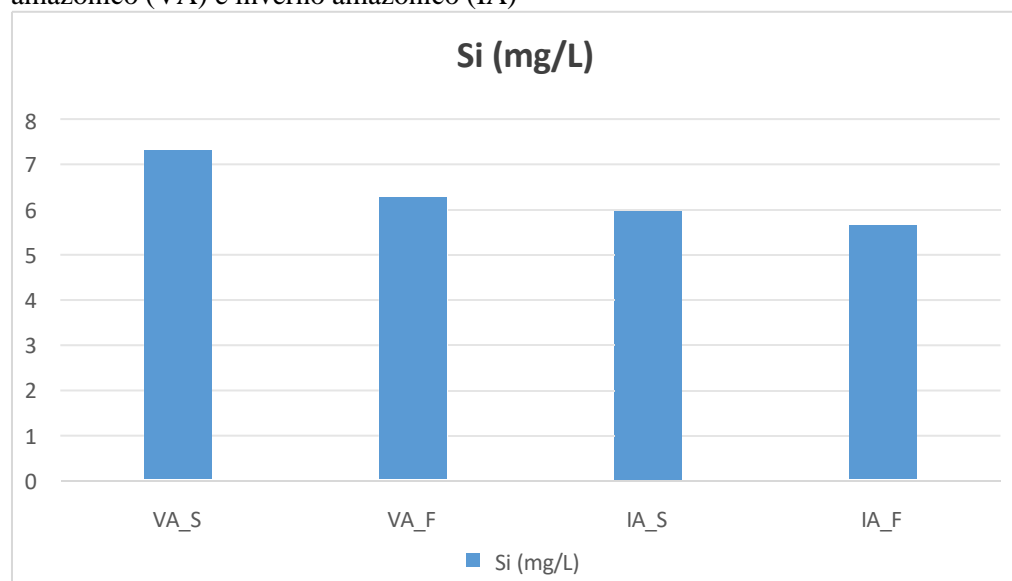
A decomposição de folhas e galhos libera ácidos húmicos e fúlvicos, contribuindo para a coloração e presença do ferro. Poços, especialmente com mais de metros e mal construídos, frequentemente apresentam níveis elevados de ferro devido à dissolução de rochas. O consumo excessivo de água com alto teor de ferro (acima de 0,3 ppm, limite recomendado) pode causar diarreia, vômito e lesões digestivas. Em áreas como a Vila do Elesbão (AP), o ferro, junto com outros metais, pode ser prejudicial a organismos, interferindo no metabolismo. Estudos indicam que, além do ferro, outros elementos como arsênio e manganês também podem atingir níveis elevados em poços da região, tornando a análise da água fundamental (Melo et al., 2008).

5.3 Silício

No período da coleta do inverno amazônico o fluxo de silício (fig. 05) presente a 30 cm na superfície ou espelho d'água do canal norte do rio Amazonas

registrou uma concentração de $5,912 \text{ mg.L}^{-1}$ ou $68.775.213,542 \text{ mg.m}^{-3}$, já para análise da amostragem em relação a profundidade a 60% (20,4 m) do total de profundidade do rio que foi de 34 metros, o valor foi de $5,643 \text{ mg.L}^{-1}$ ou $65.645.894,793 \text{ mg.m}^{-3}$. Já no verão amazônico nossas amostragem registraram uma concentração de $7,313 \text{ mg.L}^{-1}$ ou $85.073.263,977 \text{ mg.m}^{-3}$ na superfície e $6,260 \text{ mg.L}^{-1}$ ou $72.823.551,552 \text{ mg.m}^{-3}$ na profundidade (60% (12,5 m) do rio Amazonas ao longo do dia.

Figura 05: Dados do elemento silício (Si) registrado no período da coleta do verão amazônico (VA) e inverno amazônico (IA)



Fonte: Gama e Marques, 2026

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante encontrado na descarga hídrica do rio Amazonas, perdendo apenas para o cálcio, isso é explicado pela composição geoquímica do solo classificado como latossolo argiloso e arenoso, com sedimentos ricos em silicatos (KER, 1998). Além de ser importante ao ambiente aquático por ser um elemento nutritivo para algumas espécies, pois entra na composição de frústulas, espículas e outras estruturas de espécies planctônicas e não representa um poluente em potencial (SIQUEIRA et al., 2003). Apesar de sua importância o Si não apresentou correlação com a vazão ou outro parâmetro biogeoquímico analisado, mas apresentou distribuição normal, variabilidade sazonal e sem variabilidade espacial ao longo do trecho (Diniz, 2018).

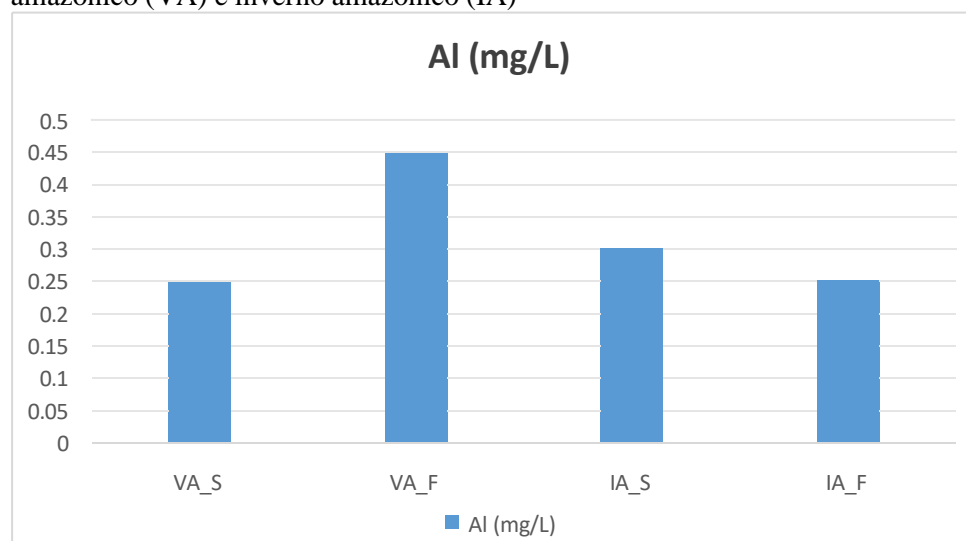
O silício é natural em minerais da crosta terrestre (quartzo, aluminossilicatos), liberado para as águas. Pode estar presente como sílica dissolvida (ácido silícico) ou

sílica coloidal, suspensa na água. Em algumas regiões, como no Amapá, resíduos de mineração (ferro) abandonados podem aumentar a presença de materiais inorgânicos no rio, gerando riscos à saúde de populações ribeirinhas. Embora o rio tenha variações naturais de pH e oxigênio, a presença de metais e compostos inorgânicos, como a sílica particulada, é motivo de preocupação (Lazzerini, Bonotto, 2014)

5.4 Alumínio

No período da coleta do inverno amazônico o fluxo de alumínio (fig. 06) presente a 30 cm na superfície ou espelho d'água do canal norte do rio Amazonas registrou uma concentração de $0,312 \text{ mg.L}^{-1}$ ou $3.629.544,422 \text{ mg.m}^{-3}$, já para análise da amostragem em relação a profundidade a 60% (20,4 m) do total de profundidade do rio que foi de 34 metros, o valor foi de $0,261 \text{ mg.L}^{-1}$ ou $3.036.253,507 \text{ mg.m}^{-3}$. Já no verão amazônico nossas amostragem registraram uma concentração de $0,25 \text{ mg.L}^{-1}$ ou $2.908.288,8 \text{ mg.m}^{-3}$ na superfície e $0,443 \text{ mg.L}^{-1}$ ou $5.153.487,753 \text{ mg.m}^{-3}$ na profundidade (60% (12,5 m)) do rio Amazonas ao longo do dia.

Figura 06: Dados do elemento alumínio (Al) registrado no período da coleta do verão amazônico (VA) e inverno amazônico (IA)



Fonte: Gama e Marques, 2026

O alumínio (Al) é outro elemento analisado que apresentou baixa concentração no canal norte do rio Amazonas entre Macapá-Ap e a Ilha do Marajó-Pa. É um dos principais constituintes dos componentes atmosféricos, em particular de poeiras derivadas de solos e partículas originadas da combustão de carvão (FIGUEIREDO, 2002). Na água o Al é complexado e influenciado pelo pH, temperatura, presença de íons fluoretos e sulfatos, matéria orgânica e outros ligantes, é pouco solúvel em pH

com caráter ácido (5,5 e 6,0) podendo apresentar maiores concentrações em profundidade em que o pH seja ainda mais ácido ($\text{pH} < 5,5$), o que pode favorecer organismo anaeróbio (CAMILLERI et al., 2003, Diniz, 2018). O Al apresentou o mesmo comportamento do Fe, sem uma distribuição normal ($p > 0.05$), sazonal ($p < 0.05$) ou espacial ($p < 0.05$) no trecho estudado.

Estudos indicam que níveis elevados de alumínio e outros metais, como o manganês, em poços da região, muitas vezes resultam de processos naturais. No entanto, atividades humanas, como o garimpo e o descarte de rejeitos, também contribuem, com relatos de impacto na fauna, como a presença de resíduos em arraias no Amapá. A ingestão de água com níveis altos de alumínio pode levar a problemas graves, incluindo anemia e alterações neurológicas (Braga, et al., 2020)

A contaminação não é apenas no leito principal, mas afeta poços subterrâneos em comunidades rurais. Estudos de monitoramento de qualidade da água (como no Rio Cupixi) indicam a presença de metais após atividades de garimpo. Órgãos de meio ambiente (como o Ibama) atuam com multas em casos de vazamento de fluidos de perfuração, como o ocorrido na Bacia da Foz do Amazonas (Szikszay, 1993).

5.5 Ferro, Silício e Alumínio e o Ensino de Química

5.5.1 Conhecendo o elemento Ferro (Fe)

O ferro (do latim *ferrum*) é um elemento químico, símbolo **Fe**, de número atômico 26 (26 prótons e 26 elétrons) e massa atômica 56 u. À temperatura ambiente, o ferro encontra-se no estado sólido. É extraído da natureza sob a forma de minério de ferro que, depois de passado para o estágio de ferro-gusa, através de processos de transformação, é usado na forma de lingotes. Controlando-se o teor de carbono, dá-se origem a vários tipos de aço. Este metal de transição é encontrado no quarto período e no grupo 8 (anteriormente denominado como VIIIB) da Classificação Periódica dos Elementos. Tem configuração eletrônica no estado fundamental $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$ no estado excitado ou de oxidação pode perder 2 elétrons ficando com as seguintes configurações (Fe^{2+}) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6$ ou 3 elétrons (Fe^{3+}) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$. Sendo o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre (aproximadamente 5%) e, entre os metais, somente o alumínio é mais abundante.

O ferro (Fe) é um elemento químico essencial e um metal de transição vital para o corpo humano, sendo fundamental para o transporte de oxigênio via

hemoglobina, além de crucial na indústria para a produção de aço e na história, marcando a Idade do Ferro, com grande importância na construção civil, veículos e ferramentas, sendo um dos metais mais abundantes e utilizados globalmente, encontrado na natureza em minérios e em alimentos como carnes e vegetais verde-escuros, com deficiência causando anemia (Martins, 2001).

Figura 07: Ferro em estado bruto



Fonte: Companhia Vale do Rio Doce

Componente da hemoglobina (transporte de O_2), mioglobina e enzimas, participa da produção de energia e DNA, e fortalece o sistema imunológico, sua ausência causa anemia ferropriva, fadiga, palidez, fraqueza e problemas cognitivos, sendo comum em crianças pequenas e mulheres férteis. Podendo ser encontrados em alimentos como carnes vermelhas, vísceras (fígado), feijão, lentilha, espinafre, couve, gema de ovo, com melhor absorção do ferro heme (animal) e não heme (vegetal), sendo a vitamina C e proteínas animais aliadas da absorção (Wagner, 2003),

O ferro é um metal maleável, tenaz, de coloração cinza prateado, apresentando propriedades magnéticas; é ferromagnético a temperatura ambiente, é encontrado na natureza fazendo parte da composição de diversos minerais, entre eles muitos óxidos, como o FeO (óxido de ferro II, ou óxido ferroso) ou como Fe_2O_3 (óxido de ferro III, ou óxido férrico). Para obter-se ferro no estado elementar, os óxidos são reduzidos com carbono e imediatamente submetidos a um processo de refinação para retirar as impurezas presentes. É o elemento mais pesado que se produz exotermicamente por fusão nuclear, e o mais leve produzido por fissão, devido ao fato de seu núcleo ter a mais alta energia de ligação por núcleon, que é a energia

necessária para separar do núcleo um nêutron ou um próton, portanto, o núcleo mais estável é o do ferro-56 (Hoffbrand et al.; 2004).

O ferro disponível nos alimentos pode ser classificados em dois tipos: a) **Ferro heme**: forma orgânica, presente na hemoglobina dos eritrócitos do sangue e é encontrado principalmente nos alimentos de origem animal (ex.: fígado e língua de boi, fígado e coração de galinha, peixes e frutos do mar) e b) **Ferro não heme**: forma inorgânica, não faz parte do complexo heme da hemoglobina e está presente principalmente nos alimentos de origem vegetal (ervilha seca, açaí, feijão, lentilha, nozes e outras oleaginosas, açúcar mascavo, chocolate, etc.), mas pode ser encontrado nos ovos e em pequenas quantidades (Weeks et al., 1968)

O ferro é o metal mais usado, com 95% em peso da produção mundial de metal. É indispensável devido ao seu baixo preço e dureza, especialmente empregado em automóveis, barcos e componentes estruturais de edifícios. O aço é a liga metálica de ferro mais conhecida, sendo este o seu uso mais frequente. Os aços são ligas metálicas de ferro com outros elementos, tanto metálicos quanto não metálicos, que conferem propriedades distintas ao material. É considerada aço uma liga metálica de ferro que contém menos de 2% de carbono; se a percentagem é maior recebe a denominação de ferro fundido. É o metal de transição mais abundante da crosta terrestre, e quarto de todos os elementos. Também é abundante no universo, tendo-se encontrado meteoritos que contêm este elemento. O ferro é encontrado em numerosos minerais, destacando-se: A hematita (Fe_2O_3), a magnetita (Fe_3O_4), a limonita [$\text{FeO}(\text{OH})$], a siderita (FeCO_3), a pirita (FeS_2) e a ilmenita (FeTiO_3) (Lippard, Berg, 1994).

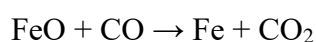
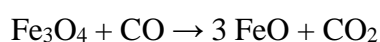
No processo de obtenção, geralmente é usada a hematita, que apresenta ponto de fusão de 1560 °C. Para que essa temperatura seja diminuída, é adicionado o carbonato de cálcio (CaCO_3). Além de promover a redução do ponto de fusão da hematita, ele atua reagindo com impurezas presentes, como o dióxido de silício (SiO_2), formando o metassilicato de cálcio (CaSiO_3), conhecido como escória. O coque (carbono amorfo, com mais de 90% de pureza) é usado para promover a redução da hematita, transformando o Fe^{3+} em $\text{Fe}(\text{s})$. Inicialmente, o coque, em presença de excesso de O_2 fornecido pelo ar, reage produzindo CO_2 . O dióxido de carbono assim produzido, e também o proveniente do carbonato de cálcio, reagem

com o coque que é constantemente adicionado ao alto-forno, produzindo CO. Este, por fim, será o responsável por reagir com o Fe_2O_3 , produzindo $\text{Fe}_{(s)}$ e CO_2 (Lippard, Berg, 1994).

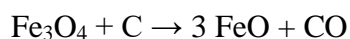
O processo de oxidação do coque com oxigênio libera energia. Na parte inferior do alto-forno a temperatura pode alcançar 1 900 °C.

- Redução dos minerais que são óxidos:

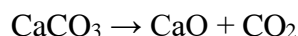
Inicialmente, os óxidos de ferro são reduzidos na parte superior do alto-forno, parcial ou totalmente, com o monóxido de carbono, já produzindo ferro metálico. Exemplo: redução da magnetita:



Posteriormente, na parte inferior do alto-forno, onde a temperatura é mais elevada, ocorre a maior parte da redução dos óxidos com o coque (carbono):



O carbonato de cálcio se decompõe:



e o dióxido de carbono é reduzido com o coque a monóxido de carbono, como visto acima.

Na parte mais inferior do alto-forno ocorre a carburação $3 \text{Fe} + 2 \text{CO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$ processos de enriquecimento finalmente ocorre a combustão e a dessulfuração (eliminação do enxofre) devido à injeção de ar no alto-forno, e por último são separadas as frações: a escória e o ferro fundido, que é a matéria-prima empregada na indústria do aço. O ferro obtido pode conter muitas impurezas não desejáveis, sendo necessário submetê-lo a um processo de refinação que pode ser realizado em fornos chamados *convertedores*. Em 2004, os cinco países maiores produtores de ferro eram a China, o Brasil, a Austrália, a África do Sul e a Rússia, com 74% da produção mundial (Wagner, 2003).

O ferro é encontrado em praticamente todos os seres vivos e cumpre

numerosas e variadas funções. Tanto o excesso como a deficiência de ferro podem causar problemas no organismo. O excesso de ferro é chamado de hemocromatose, enquanto a sua deficiência é conhecida como anemia. A palavra anemia, apesar de estar popularmente associada à carência de ferro no organismo, não é utilizada unicamente para ela. Para a carência de ferro no organismo, cabe o nome específico de anemia ferropriva. Nas transfusões de sangue são usados ligantes que formam com o ferro complexos de alta estabilidade, evitando que ocorra uma queda demasiada de ferro livre. Estes ligantes são conhecidos como sideróforos. Muitos organismos empregam estes sideróforos para captar o ferro de que necessitam. Também podem ser empregados como antibióticos, pois não permitem ferro livre disponível (Johnson, 2017).

Sua carência nos humanos pode causar, além da anemia, anorexia, sensibilidade óssea e a clima frio, prisão de ventre, distúrbios digestivos, tontura, fadiga, problemas de crescimento, irritabilidade, inflamação da língua. Seu excesso (em nível de nutriente) nos humanos pode causar: igualmente anorexia, tontura, fadiga e dores de cabeça. O tanino presente no chá e café inibem, em 64 e 33% respectivamente, a absorção de ferro. O magnésio inibe a absorção de ferro quando a presença do primeiro é 300 vezes maior do que a do ferro, o zinco quando cinco vezes maior e o cálcio em quantidades superiores a 500 mg, embora a influência do cálcio ainda seja discutida (Martins, 2001).

5.5.2 Conhecendo o elemento Silício (Si)

O silício (latim: *silex*, sílex ou "pedra dura") é um elemento químico de símbolo Si de número atômico 14 (14 prótons e 14 elétrons) com massa atômica igual a 28 u. À temperatura ambiente, o silício encontra-se no estado sólido. Foi descoberto pelo químico sueco Jöns Jacob Berzelius, em 1823. O silício é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, perfazendo mais de 28% de sua massa (atrás somente do Oxigênio e seus 47% de composição da crosta). Aparece na argila, feldspato, granito, quartzo e areia, normalmente na forma de dióxido de silício (também conhecido como sílica) e silicatos (compostos contendo silício, oxigênio e metais).

Figura 08: Silício (Si) no estado sólido depois de processado



Fonte: Academia de mineração

O silício é o principal componente do vidro, cimento, cerâmica, da maioria dos componentes semicondutores e dos silicones, que são substâncias plásticas muitas vezes confundidas com o silício. Pertence ao grupo 14 (IVA) da Classificação Periódica dos Elementos e configuração $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$ no estado fundamental . Se apresenta na forma amorfa e cristalina; o primeiro na forma de um pó pardo mais reativo que a variante cristalina, que se apresenta na forma octaédrica de coloração azul grisáceo e brilho metálico

O silício é um elemento químico semimetal, o segundo mais abundante na crosta terrestre, essencial para a tecnologia moderna e a saúde. Ele é base da indústria de semicondutores, vidros e cerâmicas, além de ser fundamental na produção de energia solar e, como silício orgânico, no fortalecimento da pele, cabelos, unhas e ossos, auxiliando na síntese de colágeno (Stephen, 2002). Principais características e usos do silício e na eletrônica devido às suas propriedades de semicondutor, é o componente principal em chips, computadores e componentes eletrônicos. Na indústria é amplamente utilizado na fabricação de vidro, cimento e silicones. Na Saúde (Silício Orgânico) é biodisponível, auxilia na produção de colágeno e elastina, aumentando a firmeza da pele e prevenindo o envelhecimento. Sendo abundante na areia, quartzo e argila na forma de sílica (SiO_2) (Stephen, 2002).

Na saúde humana o silício tem sua aplicação no colágeno, pois estimula a síntese de colágeno, elastina e estabiliza glicosaminoglicanos, sendo usado para

combater flacidez e rugas. No cabelos e unhas fortalece a estrutura capilar e melhora a resistência das unhas. Em fontes alimentares pode ser obtido através de alimentos como aveia, cevada, arroz, cenoura, pepino e água com gás. É indicado para auxiliar na manutenção da saúde dos ossos e articulações, com dosagens geralmente após os 30 anos para repor a perda natural. Sendo um elemento versátil, encontrando-se tanto em formas estruturais resistentes (pedras) quanto em aplicações biológicas orgânicas (Kalil et al., 2017).

Suas propriedades são intermediárias entre as do carbono e o germânio. Na forma cristalina é muito duro e pouco solúvel, apresentando um brilho metálico e uma coloração grisácea. É um elemento relativamente inerte e resistente à ação da maioria dos ácidos; reage com os halogênios e álcalis. O silício transmite mais de 95% dos comprimentos de onda das radiações infravermelhas. Apenas os compostos de silício podem ser encontrados na natureza. O silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre; 26 a 28% da crosta terrestre é composta de silício. Em abundância na crosta terrestre o silício fica atrás apenas do oxigênio, que compõe quase a metade de toda a crosta. Na água do mar, a sua concentração é relativamente baixa, com apenas 3 mg de silício por litro. Pode-se encontrar no espaço um átomo de silício para cada 30 000 átomos de hidrogênio (Epstein., 1999).

O silício é um componente essencial da grande maioria das rochas que formam a crosta terrestre. Arenitos, argila e granito são exemplos de rochas que contém compostos de silício. Entre os compostos silicosos significativamente presentes na argila, formada basicamente por feldspato, são a ortoclase (KAlSi_3O_8) e a plagioclase ($(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}_{1-2}\text{Si}_2$). O quartzo (SiO_2 - sílica) pode apresentar diferentes cores de acordo com a presença de pequenas quantidades de elementos estranhos. A sílica quase pura é conhecida como quartzo ou simplesmente cristal. Os quartzos de cor púrpura ou lilás são conhecidos como ametista, os cristais de coloração amarela são conhecidos como citrinos (Marschner e Marschner, 2012).

Utilizado para a produção de ligas metálicas, na preparação de silicones, na indústria cerâmica e, por ser um material semicondutor muito abundante, tem um interesse muito especial na indústria eletrônica e microeletrônica, como material básico para a produção de transistores para chips, células solares e em diversas variedades de circuitos eletrônicos. Por esta razão é conhecida como Vale do Silício a

região da Califórnia (Estados Unidos) onde estão concentradas numerosas empresas do setor de eletrônica e informática (Street-Perrott, e Barker, 2008).

O silício é um elemento vital em numerosas indústrias. O dióxido de silício, areia e argila são importantes constituintes do concreto armado e azulejos (ladrilhos), sendo empregadas na produção do cimento Portland, usado como carga em materiais de revestimento e compósitos de cimento, como cerâmicas, e o elemento de liga em fundições, na fabricação de vidro e cristais para janelas e isolantes, usa-se em lasers para a obtenção de luz com um comprimento de onda de 456 nm, é um dos componentes do polímero silicone, usado na fabricação dos diodos e diversos componentes eletrônicos, usado na fabricação de produtos para restaurações odontológicas (silicatos), é utilizado como elemento de ligação entre restaurações em porcelana e cerâmico e os adesivos (silano), entre outras aplicações (Street-Perrott, e Barker, 2008).

O uso de silício nos módulos fotovoltaicos (painéis solares) tem aumentado muito no século XXI devido a preocupação mundial com o aquecimento global. O uso de células fotovoltaicas para a obtenção de eletricidade aproveita um recurso inesgotável, que é a energia solar. Os módulos são constituídos por células fotovoltaicas, que consistem de uma lâmina de silício na qual é formada uma junção P-N (diodo de junção), capaz de gerar energia elétrica utilizável a partir de fontes de luz como a luz solar. A primeira geração de células constitui a tecnologia dominante em termos de produção comercial, representando mais de 80% do mercado mundial. O efeito fotovoltaico foi descoberto pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel. Entretanto, só após 1883 que as primeiras células fotovoltaicas foram construídas, por Charles Fritts. (Kalil et al., 2017).

O silício está diretamente relacionado ao crescimento dos animais tanto na formação dos órgãos quanto dos ossos. Em um homem adulto, pode-se encontrar cerca de um grama de silício. Apesar de não ser totalmente comprovado, o silício exerce um papel tanto a nível da matriz dos ossos como ao nível de sua calcificação, sobretudo no início de sua formação e independente da ação da vitamina D. Também está relacionado na formação da cartilagem e do tecido conjuntivo (em particular na fabricação do colágeno e das proteoglicanas da matriz). O silício orgânico, sob a forma do ácido ortossilícico, tem efeitos comprovados no rejuvenescimento cutâneo,

melhorando a firmeza, a hidratação e a textura (Epstein,, 1999).

5.5.3 Conhecendo o elemento Alumínio (Al)

É um elemento químico de símbolo Al e número atômico 13 (treze prótons e treze elétrons), localizado no quarto período e no grupo 13 (3A) da tabela periódica. O alumínio tem uma densidade mais baixa do que outros metais comuns; aproximadamente um terço do aço. Apresenta uma elevada afinidade pelo oxigênio, formando uma camada protetora de óxido na superfície quando exposto ao ar. O alumínio é visualmente semelhante à prata, tanto pela sua cor como pela sua grande capacidade de refletir a luz. É mole, não magnético e dúctil. Possui um isótopo estável: o Al^{27} , que é muito abundante, fazendo do alumínio o décimo segundo elemento mais comum no universo (Maud, 1988; Horst, 1995).

O alumínio é um metal de pós-transição do grupo do boro; como é habitual no grupo, o alumínio forma compostos principalmente no estado de oxidação +3 com configuração $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$ no estado fundamental e $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ no estado excitado. O cátions Al^{3+} é pequeno e altamente carregado; como tal, é polarizador, e as ligações que o alumínio forma tendem para a covalência. A forte afinidade pelo oxigênio significa que o alumínio está comumente associado ao oxigênio na natureza sob a forma de óxidos; Por esta razão, o alumínio encontra-se principalmente nas rochas da crosta terrestre, e não no manto, onde é o terceiro elemento mais abundante, depois do oxigênio e silício e praticamente nunca como metal livre. É obtido industrialmente através da extração da bauxite, uma rocha sedimentar rica em minerais de alumínio (Tamburo et al., 2015).

Figura 09: alumínio em estado solido já processado



Fonte: Academia de mineração

O alumínio possui nove isótopos, cujas massas atômicas variam entre 23 e 30 u. Somente o Al-27, estável, e o Al-26, radioativo com uma vida média de $7,2 \times 10^5$ anos, são encontrados na natureza. O Al-26 é produzido na atmosfera a partir do bombardeamento do argônio por raios cósmicos e prótons. Os isótopos têm aplicação prática na datação de sedimentos marinhos, gelos glaciais, meteoritos, etc. A relação Al-26 / Be-10 é empregada na análise de processos de transporte, deposição, sedimentação e erosão a escalas de tempo de milhões de anos (Shaw, Tomljenovic, 2013).

O alumínio é um metal leve, prateado e extremamente versátil, extraído principalmente do minério bauxita. Ele é conhecido por sua excelente resistência à corrosão, alta condutividade elétrica e térmica, além de ser 100% reciclável. O metal é produzido através do refinamento da bauxita em alumina e, posteriormente, transformado em alumínio metálico por eletrólise. Curiosamente, no século XIX, ele era tão raro que era considerado mais valioso que o ouro e a prata. Usado na construção civil na fabricação de janelas, portas, telhas e estruturas de fachadas. Em transportes na fabricação de aviões, carros e barcos para reduzir o peso e o consumo

de combustível. Em embalagens como latas de bebidas e papel-alumínio, devido à sua barreira contra luz e umidade. Na produção de eletrônicos como componentes de smartphones, notebooks e antenas. Em utensílios domésticos na produção de painéis e eletrodomésticos (Pereira et al., 2015).

O metal é produzido através do refinamento da bauxita em alumina e, posteriormente, transformado em alumínio metálico por eletrólise. Curiosamente, no século XIX, ele era tão raro que era considerado mais valioso que o ouro e a prata. O alumínio puro é mais dúctil em relação ao aço, porém suas ligas com pequenas quantidades de cobre, manganês, silício, magnésio e outros elementos apresentam uma grande quantidade de características adequadas às mais diversas aplicações. Estas ligas constituem o material principal para a produção de muitos componentes dos aviões e foguetes. Devido à sua grande reatividade química é usado, quando finamente pulverizado, como combustível sólido para foguetes e para a produção de explosivos. Ainda usado como ânodo de sacrifício e em processos de aluminotermia para a obtenção de metais (Guimarães et al., 2015).

Apesar do alumínio ser um metal encontrado em abundância na crosta terrestre (8,1%) raramente é encontrado livre. Suas aplicações industriais são relativamente recentes, sendo produzido em escala industrial a partir do final do século XIX. Quando foi descoberto verificou-se que a sua separação das rochas que o continham era extremamente difícil. Como consequência, durante algum tempo, foi considerado um metal precioso, mais valioso que o ouro. Com o avanço dos processos de obtenção os preços baixaram continuamente até colapsar em 1889, devido à descoberta anterior de um método simples de extração do metal. Atualmente, um dos fatores que estimulam o seu uso é a estabilidade do seu preço, provocada principalmente pela sua reciclagem (Shaw, Tomljenovic, 2013).

A recuperação do metal a partir da reciclagem é uma prática conhecida desde o início do século XX. Entretanto, foi a partir da década de 1960 que o processo se generalizou, mais por razões ambientais do que econômicas. O processo ordinário de obtenção do alumínio ocorre em duas etapas: a obtenção da alumina pelo processo Bayer e, posteriormente, a eletrólise do óxido para obter o alumínio. A elevada reatividade do alumínio impede extraí-lo da alumina mediante a redução, sendo necessário obtê-lo através da eletrólise do óxido, o que exige este composto no estado

líquido. A alumina possui um ponto de fusão extremamente alto (2 072 °C) tornando inviável de forma econômica a extração do metal. Porém, a adição de um fundente, no caso a criolita, permite que a eletrólise ocorra a uma temperatura menor, de aproximadamente 1 000 °C (Arain et al, 2015) .

O Alumínio é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre na forma de óxido de alumínio (Al_2O_3). Talvez por causa disto ele é tido como inofensivo mas a exposição a altas concentrações pode causar problemas de saúde principalmente quando na forma de íons em que ele é solúvel em água (Exley, Vickers, 2014). Sua concentração parece ser maior em lagos ácidos. Nestes lagos o número de peixes e anfíbios está diminuindo devido a reações de íons de alumínio com proteínas nos alevinos de peixes e embriões de anfíbios. O alumínio é um dos principais fatores que reduzem o crescimento das plantas em solos ácidos. Embora seja geralmente inofensivo para o crescimento das plantas em solos de pH neutro, a concentração em solos ácidos de Al^{3+} aumenta o nível de cátions e perturba o crescimento da raiz (Maud, 1988; Horst, 1995). A maioria dos solos ácidos estão saturados de alumínio ao invés de íons de hidrogênio. A acidez do solo é, portanto, um resultado de hidrólise de compostos de alumínio (Turner, Clark , 1966).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fluxo de carga hídrica ou vazão apresentou maior massa líquida no mês de fevereiro e a menor no mês de setembro, isso ocorre devido o inverno amazônico, a precipitação mais intensa na nascente do rio Amazonas que ocorre no primeiro semestre do ano principalmente nos andes peruano, com maior intensidade devido o inverno amazônico, sendo o mês de abril o que apresenta maior intensidade de chuva na região. No verão amazônico o fluxo reduz consideravelmente, tendo o mês de outubro com zero de chuva, o que faz reduzir drasticamente o fluxo de água em toda intensidade do rio Amazonas principalmente no canal norte do rio em sua desembocadura.

O silício na água do Rio Amazonas encontra-se em formas dissolvidas, como o ácido silícico (H_4SiO_4), e coloidais, sendo um componente mineral natural da crosta terrestre. A presença de sílica está relacionada ao transporte de sedimentos e à decomposição orgânica, embora possa estar elevada em certas áreas devido a atividades de mineração passadas.

O ferro é comum na água da bacia amazônica, frequentemente resultando de fontes naturais e da decomposição de matéria orgânica, que tingem os rios de tons escuros. Em certas áreas, como na foz do rio, concentrações elevadas de ferro e outros metais podem representar riscos, indicando contaminação e a necessidade de tratamento para o consumo humano, já que o excesso pode causar problemas de saúde.

A presença de alumínio na água do Rio Amazonas e em sua bacia é um tema preocupante, com estudos apontando concentrações até três vezes superiores aos limites recomendados, tanto por fontes naturais quanto por contaminação, com potenciais riscos à saúde humana e ao ecossistema. Resíduos de alumínio foram detectados em espécies aquáticas e a exposição crônica é associada a sérios riscos, como problemas no sistema nervoso.

O estudo do ferro, silício e alumínio é de extrema importância no ensino de química, pois esses elementos são fundamentais para compreender conceitos teóricos, propriedades da matéria e aplicações industriais no cotidiano, sendo os três mais abundantes na crosta terrestre. Eles servem como "temas geradores" para conectar a química teórica com aspectos socioeconômicos e tecnológicos.

REFERÊNCIAS

ALIN, S. R.; RASERA, M. F. L.; SALIMON, C. I.; RICHEY, J. E.; HOLTGRIEVE, G. W.; KRUSCHE, A. V.; SNIDVONGS, A. Physical controls on carbon dioxide transfer velocity and flux in low gradient river systems and implications for regional carbon budgets. **Journal of Geophysical**, v. 116, n. 1, p. 17. 2011.

AMBRIZZI, T. et al. **Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC)**. Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1º Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

ALMEIDA, F. F.; MELO, S. Estrutura da comunidade fitoplanctônica de um lago de inundação amazônico (Lago Catalão, Amazonas, Brasil). **Neotropical Biology and Conservation**. v. 6, n. 2, p. 112–123, 2011.

APHA (American Public Health Association). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. Ed. Washington: American Public Health Association; AWWA; WPCF, 1569p. 1999.

ARAIN, MARIAM SHAHZADI; AFRIDI, HASSAN IMRAN; KAZI, TASNEEM GUL; TALPUR, FARAH NAZ; ARAIN, MOHAMMAD BALAL; KAZI, ATIF; ARAIN, SALMA ASLAM; ALI, JAMSHED. Correlation of aluminum and manganese concentration in scalp hair samples of patients having neurological disorders». **Environmental Monitoring and Assessment** (2). 10 páginas, 2015.

BÁRBARA, V. F.; CUNHA, A. C.; RODRIGUES, A. S. L.; SIQUEIRA, E. Q. Monitoramento sazonal da qualidade da água do rio Araguari / AP. **Revista Biociências**. v. 16, p. 57 – 72. 2010.

BELMONTE PEREIRA, LUCIANE; AIMED TABALDI, LUCIANE; FABBRIN GONÇALVES, JAMILE; JUCOSKI, GLADIS OLIVEIRA; PAULETTO, MARENI MARIA; NARDIN WEIS, SIMONE; TEXEIRA NICOLOSO, FERNANDO; BROTHER, DENISE et al). Effect of aluminum on δ -aminolevulinic acid dehydratase (ALA-D) and the development of cucumber (*Cucumis sativus*). **Environmental and experimental botany** 57 (1–2): 106–115. 2006.

BRAGA, E.A.S. et al.. *Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas*, 2020

COSTA, A. C. L.; SILVA JR, J. A.; CUNHA, A. C.; GALBRAITH, D.; FEITOSA, J. R. P.; MATTOS, A. Distribuição geoespacial e horária da temperatura do ar na cidade de Belém, Estado do Pará, Brasil. **Brazilian Geographical Journal**. v. 4, n. 1, p. 150-168, 2013.

CUNHA, A. C.; BRITO, D. C.; BRASIL Jr, A. C.; PINHEIRO, L. A. R.; CUNHA, H. F. A.; BRITO, SANTOS, E.; KRUSCHE, A. V. Challenges and Solutions for Hydrodynamic and Water Quality in Rivers in the Amazon Basin. **Hydrodynamics- Natural Water Bodies**; p. 67-88, 2012.

DEVOL, A. H. et al. Seasonal-Variation in Chemical-Distributions in the Amazon (Solimoes) River – A Multiyear Time-Series. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 9, n. 3, p. 307–328, 1995.

DEVOL, A. H.; HEDGES, J. I. Organic matter and nutrients in the mainstem Amazon river. In: MCCLAIN, M. E.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E. (Eds.). The biogeochemistry of the Amazon basin. New York: **Oxford University Press**, p. 275 – 306, 2001.

DINIZ, J. E. M. Hidrodinâmica e biogeoquímica no baixo amazonas: de obidos a foz Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Amapá, Programa de Pós- Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia. 96 f. 2018.

EXLEY, C.; VICKERS, T. . Elevated brain aluminium and early onset Alzheimer's disease in an individual occupationally exposed to aluminium: a case report». **Journal of Medical Case Reports**. 41 páginas. ISSN 1752- 1947. 2014.

EVA, H. D.; HUBER, O. Proposta para definição dos limites geográficos da Amazônia. Luxemburgo: Comunidades Européias, 2005.

GIBBS, R. J. Water chemistry of the Amazon River. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 36, p.1061-1066. 1972.

GUIMARÃES, LUCAS MELO; CARNEIRO, EDUILSON LÍVIO NEVES DA COSTA; CARVALHO-COSTA, FILIPE ANIBAL Increasing incidence of pertussis in Brazil: a retrospective study using surveillance data . **BMC Infectious Diseases**. ISSN 1471-2334. 2015.

HANAN, S. A.; BATALHA, B. H. L. **Amazônia: contradições no paraíso ecológico**. São Paulo/SP: Cultura, p. 265. 1995.

HEDGES, J. I.; ERTEL , J. R.; QUAY, P. D.; GROOTES, P. M.; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H.; FARWELL , G. W.; SCHMIDT, F. W.; SALATI, E. Organic carbon-14 in the Amazon River system. **Science**, 231: 1129-1131, 1986.

HOFFBRAND, A. V.; PETTIT, J. E.; MOSS, P. A. H. **Fundamentos em hematologia**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

HORST, WALTER J. "The role of the apoplast in aluminium toxicity and resistance of higher plants: A review". **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde** 158 (5): 419–428..1995.

IBGE – **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA** (2017). Mapeamento da verdadeira nascente do rio Amazonas. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/> acessado em 02 de fevereiro de 2017.

INPE – **INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS** (2018). Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php=501>>. Acessado em 23 de março de 2018.

JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J.; RIHA, S. J.; KRUSCHE, A. V.; RICHEY, J. E.; OMETTO, J. P. H. B.; COUTO, E. G. CO₂ efflux from Amazonian headwater streams represents a significant fate for deep soil respiration. **Geophysical Research Letters**, v. 35, p. 1-5, 2008.

JOHNSON, LARRY. **MANUAL MSD - Versão para Profissionais de Saúde**. **European Journal of Clinical Nutrition**, 2017.

KOHLHEPP, G. Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, v. 16, n. 45, p. 37-61, 2002.

LAZZERINI, FÁBIO TADEU. BONOTTO, DANIEL MARCOS. O silício em águas subterrâneas do Brasil. The silicon in Brazilian groundwater. *Ciência e Natura*, Santa Maria. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM* v. 36, n. 2, p. 159-168, mai/ago. 2014.

LIPPARD, S. J.; BERG, J. M. Principles of Bioinorganic Chemistry. (em inglês). [S.l.]: Mill Valley: **University Science Books. Modern Nutrition in health and disease**. 18^o Edition. .1994.

MARSCHNER, HORST.; MARSCHNER, PETRA. Marschner's mineral nutrition of higher plants 3rd ed ed. **Amsterdam: Academic Press**. ISBN 978-0-12-384906-9. 2012.

MARTINS, CRISTINA. Ferro & Força! Como prevenir da anemia. **Nutroclínica**, 2001.

MAUD, ANDERSSON, "Toxicity and tolerance of aluminium in vascular plants". **Water, Air, & Soil Pollution** 39 (3–4): 439–462. doi:10.1007/BF00279487.. 1988.

McCLAIN, M. E.; ELSENBEER, H. Terrestrial Inputs to Amazon Streams and Internal Biogeochemical Processing. **Processing, Terrestrial Inputs to Amazon Streams**, v. 19, n. 10, p. 185–208, 2001.

MELO, MARCEL; COSTA, BYRON; AQUINO, OSWALDO DE. Remoção de ferro e sílica de água subterrânea visando geração de vapor: estudo de caso. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2008.

NEU, V. A. C.; NEILL, C. B.; KRUSCHE, A. V. Gaseous and fluvial carbon export from na Amazon forest watershed. **Biogeochemistry**, v. 105, n. 1, p. 133–147, 2011.

NITTROUER, C. A. et al. Na introduction to the geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf. **Marine Geology**, v. 125, n. 3-4, p. 177–192, 1995.

PERRY, G. D.; DUFFY, P. B.; MILLER, N. L. Na extended data set of river discharges for validation of general circulation models. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 101, n. D16, p. 21339–21349. 1996.

PETERSEN VITELLO KALIL, CÉLIA LUIZA; CAMPOS, VALÉRIA; CIGNACHI, STELA; FAVARO IZIDORO, JULIANA; PRIETO HERMAN REINEHR, CLARISSA; CHAVES, CHRISTINE Evaluation of cutaneous rejuvenation associated with the use of ortho-silicic acid stabilized by hydrolyzed marine collagen .. **Journal of Cosmetic Dermatology**. 2017

RICHEY, J. E. et al. Integrated Analysis of a Humid Tropical Region – The Amazon Basin. **Convergence**, n. 2000, p. 415–428, 2000.

RICHEY, J. E.; HEDGES, J. I.; DEVOL, A. H., QUAY, P. D. Biogeochemistry of carbon in

the Amazon River. **Limnology and Oceanography**, 35, p.352-371, 1990.

RICHEY, J. E.; MELACK, J. M.; AUFDENKAMPE, A. K.; BALLESTER, V. M.; HESS, L. Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO₂. **Nature**, v. 416, p. 617-620, 2002.

SOUZA, E. B.; LOPES, M. N. G.; ROCHA, E. J. P.; SOUZA, J. R. S.; CUNHA, A. C.; SILVA, R. R.; FERREIRA, D. B. S.; SANTOS, D. M.; CARMO, A. M. C.; SOUSA, R. A.; GUIMARAES, P. L.; MOTA, M. A. S.; MAKINO M.; SENNA, R. C.; SOUSA, A. M. L.; MOTA, G. V.; KUHN, P. A. F.; SOUZA, P. F. S.; VITORINO, M. I. Precipitação sazonal sobre a Amazônia Oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009.

EPSTEIN, EMANUEL SILICON . **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. **50** (1): 641–664. ISSN 1040-2519. doi:10.1146/annurev.arplant.50.1.641. 1999.

SHAW, C. A.; LI, Y.; TOMLJENOVIC, L. Administration of aluminium to neonatal mice in vaccine-relevant amounts is associated with adverse long term neurological outcomes». **Journal of Inorganic Biochemistry**:2013.

STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Geochemistry of the Amazon 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. **Journal of Geophysical Research**, v. 88, n. 14, p. 9671–9688, 1983.

STREET-PERROTT, F. ALAYNE; BARKER, PHILIP A. Biogenic silica: a neglected component of the coupled global continental biogeochemical cycles of carbon and silicon . **Earth Surface Processes and Landforms** (em inglês). **33** (9): 1436–1457. ISSN 109. 2008

SZIKSZAY, M. Geoquímica das águas. Boletim IG/ USP Série didática, São Paulo, n. 5, p. 1-166. 1993.

TAMBURO, ELISA; VARRICA, DANIELA; DONGARRÀ, GAETANO; GRIMALDI, LUIGI MARIA EDOARDO . Trace elements in scalp hair samples from patients with relapsing-remitting multiple sclerosis». **PloS One** (4): e0122142. ISSN 1932-6203. 2015.

TURNER, R.C.; CLARK, J. S. "Lime potential in acid clay and soil suspensions". *Trans. Comm. II & IV Int. Soc. Soil Science*: 208–215. 1966.

STEPHEN D. BUTZ. *Science of Earth Systems*. [S.l.]: Cengage Learning. ISBN 9780766833913 Crosta terrestre Periodic Table of Elements: Silicon - Si (EnvironmentalChemistry.com) **environmentalchemistry**.. 2002.

VAL, A. L.; VAL, V. M. F. A.; FEARNSIDE, P. M.; SANTOS, M.; PIEDADE, M. T. F., JUNK, W.; NOZAWA S. R.; SILVA, S. T.; DANTAS, F. A. C. Amazônia: Recursos hídricos e sustentabilidade. P. 95-109. In: Bicudo, C.E.M., TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (eds.) **Águas do Brasil: Análises Estratégicas**. Instituto de Botânica, São Paulo. P. 222, 2010.

WARD, N. D.; KEIL, R. G.; MEDEIROS, P. M.; BRITO, D. C.; CUNHA, A. C.; DITTMAR, T.; YAGER, P. L.; KRUSCHE, A. V.; RICHEY, J. E. Degradation of terrestrially derived macromolecules in the Amazon River. **Nature Geoscience**, v. 6, n. 6, p.

1-4, 2013.

WAGNER, DONALD B. . Chinese blast furnaces from the 10th to the 14th century. *Historical Metallurgy* 37 (1): 25–37. originalmente publicado em Wagner, Donald B. (2001). "Chinese blast furnaces from the 10th to the 14th century". **West Asian Science, Technology, and Medicine** 18: 41–74. 2003.

WEEKS, MARY ELVIRA; LEICHESTER, HENRY M. Elements Known to the Ancients. Discovery of the Elements. Easton, PA: **Journal of Chemical Education**.