

ESTABILIDADE DE BIOMINERAIS COM ÊNFASE EM SÍLICA BIOGÊNICA E SUA IMPORTÂNCIA EM ESTUDOS DO QUATERNÁRIO

STABILITY OF BIOMINERALS WITH EMPHASIS ON BIOGENIC SILICA AND ITS IMPORTANCE IN QUATERNARY STUDIES

Liovando Marciano da Costa¹

André Luiz Miranda Reis²

Christianne Farias da Fonseca³

RESUMO: A sílica biogênica, é um excelente indicador ambiental para o Quaternário. Eles registram mudanças no clima, paisagem e vegetação, o que contribui com informações biogeográficas que podem ajudar a esclarecer eventos relacionados à reconstrução paleoambiental. A solubilidade é muito importante para entender a estabilidade da sílica depositada. Nas áreas mal drenadas, a sílica biogênica é acumulada devido à adição de biomassas ao solo e sedimentos. Além disso, os biocarvões são capazes de preservar o fitólito dentro deles. A necessidade de silício pela microbiota do solo e sedimentos causa a decomposição da sílica biogênica. O presente estudo foi desenvolvido para discutir o procedimento laboratorial para evitar danos na sílica biogênica para estudos posteriores de morfologia e química da mesma.

PALAVRAS-CHAVE: Corpos silicosos. Reconstituição paleoambiental. Dissolução dos biominerais.

ABSTRACT: The biogenic silica, is an excellent environmental indicator for Quaternary studies. They register changes in climate, landscape and vegetation areas, which contribute with biogeographic information that could help understanding events related to paleoenvironmental rebuilt. The solubility is very important to understand the stability of the deposited silica. In the poorly drained areas, the biogenic silica is accumulated due to biomasses added to soil and sediments. Furthermore the biochars are able to preserve phytoliths in side of them. The requirement of silicon by the microbiota of soil and sediments cause decomposition of biogenic silica. The present study was done to discuss the laboratory procedurs to avoid damage of the biogenic silica for further studies of morphology and chemistry of them.

KEYWORDS: Silica bodies. Paleoenvironmental reconstruction. Dissolution of biominerals.

INTRODUÇÃO

A crosta terrestre é composta, principalmente, pelos seguintes elementos químicos: silício (Si), o alumínio (Al), oxigênio (O), ferro (Fe), cálcio (Ca), sódio (Na), potássio (K) e magnésio (Mg). Sendo o Si, o segundo elemento mais abundante (27,7%), que perde apenas para o Oxigênio (46,6%), considerando apenas estes dois elementos químicos, eles atingem 74,3% da crosta.

¹ Liovando Marciano da Costa (Professor Voluntário da Universidade Federal de Viçosa – UFV, 36571-000, Viçosa, MG. Bolsista de Produtividade do CNPq. E-mail: liovandomc@yahoo.com.br

² Mestre em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa – UFV- Minas Gerais. E-mail: andreluiz93miranda@gmail.com

³ Doutoranda em Geografia, Universidade Federal da Paraíba. E-mail: cfariasdafonseca@yahoo.com.br

Já em relação às plantas, os elementos químicos mais abundantes são o oxigênio (O) e o carbono (C), ambos com 45%, os dois totalizam 90% da composição das plantas. Percebe-se, então, que o oxigênio está presente tanto na crosta terrestre como nas plantas, sendo o Si, o destaque na Crosta e, o C, nas plantas. Assim, o oxigênio e o carbono formam a maior parte da biomassa terrestre. As plantas absorvem o Si do solo, transformando-o em sílica biogênica, também conhecida como opala biogênica, corpos silicosos ou fitólitos.

Na crosta, o quartzo, é uma fonte praticamente ilimitada de silício, este mineral apresenta elevada resistência ao intemperismo, porém quanto menor o tamanho do quartzo, mais instável ele é, e se transforma em H_4SiO_4 que pode ser absorvido por uma grande variedade de seres vivos. O silício pode ser encontrado em solos e sedimentos, nas frações areia, silte e até mesmo na argila. Nesta última fração, o quartzo é muito instável e se transforma em H_4SiO_4 . Desta forma, o silício pode ser de origem mineral, derivada do quartzo, principalmente, da cristobalita e da tridimita, possuindo diversos formatos e cores, ou ser de fontes biogênicas.

O feldspato pode transformar-se em caulinita, e esta, em gibbsita. A gibbsita pode ser formada a partir da muscovita e, de outros minerais. O intemperismo destes minerais é a fonte de H_4SiO_4 necessária para a formação dos corpos silicosos.

A sílica biogênica é praticamente 20 vezes mais solúvel que a sílica advinda diretamente do quartzo. Em ambiente onde o pH é menor que 9, tem-se a sílica disponível na forma de H_4SiO_4 , isto facilita a absorção dessa forma de silício, principalmente, pelas plantas, pois não sofre influência da oxirredução, proporcionando maior estabilidade e disponibilidade no solo (COSTA *et. al.*, 2010a).

Os corpos silicosos são ótimos marcadores ambientais do Quaternário e registram mudanças no clima, na paisagem e na fitofisionomia local (BORBA-ROSCHER *et. al.*, 2006; CALEGARI *et. al.*, 2013).

Os três principais corpos silicosos mais encontrados nos solos e sedimentos continentais são: espículas de esponjas que é indicador de ambiente aquático; fitólitos (silicofitólitos e calcifitólitos); frústulas de diatomáceas.

Os fitólitos são partículas de sílica amorfa aos raios X, encontrados, especialmente, na fração areia fina (AF) (0,25 – 0,053 mm) e no silte (0,053 – 0,002 mm). Após o quartzo ser intemperizado, as plantas absorvem o silício do solo no processo de absorção de

nutrientes, que será utilizado para: compor as estruturas de diversas partes das plantas. A sílica reduz a evapotranspiração, protege contra herbívoros e parasitas, neutraliza íons tóxicos (Al e Pb), assim, a sílica passa a ser biogênica, pois foi transformada por seres vivos, neste caso as plantas. Por isso, pode ser encontrada nas folhas, sementes, frutos, raízes, no cerne e parede celular das plantas.

DESENVOLVIMENTO

Estabilidade da Sílica Biogênica

Os estudos de reconstituição paleoambiental são realizados, principalmente, a partir dos silicofitólitos, pois são mais resistentes e permanecem no solo por longos períodos, porém os calcifitólitos, em razão de sua solubilidade, não são considerados bons marcadores ambientais. A permanência destes corpos silicosos no ambiente depende do pH, da atividade macro e microbiológica, da permeabilidade dos solos e sedimentos e, do teor de Si no solo. Acrescenta-se a isso, os fatores que afetam o desenvolvimento e a permanência de corpos silicosos no ambiente, a saber: as condições climáticas, em especial a temperatura e a umidade; a variabilidade do solo, como sua textura, estrutura, matéria orgânica; a disponibilidade hídrica da área e, também a idade das plantas.

Estes processos são chamados de tafonômicos, pois estudam as condições ambientais que interferem na preservação de restos de animais e/ou plantas (fósseis) no ambiente. Segundo Luz *et. al.*, (2015), a utilização dos fitólitos como ferramenta de reconstrução paleoambiental depende, impreterivelmente, das condições da sua estabilidade em solos e em sedimentos.

O processo de remoção e deposição dos fitólitos em solos e sedimentos pode ocorrer em vários ciclos, sendo condicionado pelo clima em cada período. A permanência dos corpos silicosos no solo depende de sua composição química, das condições ambientais locais onde houve o processo de deposição dos mesmos.

O tempo de deposição e incorporação no solo, a forma, a superfície de contato dos fitólitos podem incorrer em equívocos na interpretação de assembleias fitolíticas em solos e sedimentos. Visto que, quanto maior for a superfície específica dos corpos silicosos, maior será a sua velocidade de reação química levando o silício a um rápido processo de dissolução, o que pode ocasionar a baixa estabilidade, quebra e/ou corrosão do fitólito.

A maioria dos fitólitos é incorporada ao solo pelo processo de adição em escala mais local, *in situ*, porém, os fitólitos podem ser transportados por agentes, como o vento (poeira, incêndio), a água (escoamento superficial e subsuperficial, fluxo intenso de água, precipitação elevada), por animais disseminando fitólitos de áreas distintas do local de origem (PIPERNO, 1988; EWALD, 2015).

Durante o transporte pela água ou pelo vento, os corpos silicosos podem ser danificados ou quebrados. O ataque físico ocorre quando ao serem transportados para o solo sofrem quebra e/ou corrosão nos pontos de maior contato. No morfotipo halter, ocorre a dissolução no local de menor diâmetro, e outro exemplo, são espículas de esponja em Vertissolos e Cambissolos que se apresentam em fragmentos em razão do transporte e deposição.

O intenso atrito pode dificultar ou impossibilitar a identificação dos morfotipos fitolíticos, além de indicar processos pedogenéticos, no qual o material foi transportado até o local onde foi depositado. Geralmente, os corpos silicosos não são transportados a longas distâncias, pois são partículas mais densas em relação ao pólen. Se o ambiente for aberto, com ventos fortes, como na Caatinga e no Cerrado em período seco, ou com grande precipitação e escoamento superficial, os fitólitos podem ser encontrados em áreas de depósito, colúvios (RODRIGUES, 2019). Solos e sedimentos arenosos com baixo teor de óxidos de ferro ocasionam maior atrito entre os fitólitos de dimensão maior, assim como a movimentação dos cupins e formigas acarreta o desgaste e, a dissolução dos corpos silicosos da fração silte (OSTERRIETH *et. al.*, 2009).

A dissolução é controlada pelo pH do solo ou dos sedimentos, pela disponibilidade de água e em áreas de drenagem muito lenta ou impedida a sílica tende a ser conservada, em locais apropriados ao acúmulo de matéria orgânica. A velocidade da reação química depende da área superficial específica dos fitólitos, corpos silicosos menores possuem maior interação com o meio onde se encontram. As células curtas possuem maior área superficial específica, o que torna a dissolução mais rápida do que os fitólitos de células longas (OSTERRIETH *et. al.*, 2009; MADELLA & LANCELOTTI, 2012; RODRIGUES, 2019). A temperatura do ambiente influencia também na intensidade e velocidade da dissolução (PIPERNO, 1988; 2006) ocasionando quebra e/ou corrosão nos corpos silicosos.

Estudos que analisem a dissolução diferencial de diferentes morfotipos de fitólitos deveriam ser incentivados porque auxiliam na compreensão da atuação da sílica biogênica no ciclo biogeoquímico do silício. A grande importância dos corpos silicosos para as pesquisas no Quaternário, relaciona-se com a estabilidade dos fitólitos mais estáveis que funcionam como bons marcadores ambientais, contribuindo com informações biogeográficas, como distribuição de plantas nativas e/ou cultivadas, de importância socioambiental e econômica (COSTA *et. al.*, 2010a).

Os fitólitos em solos trazem informações sobre a assembleia fóssil e podem ser utilizados para estudos de reconstituição paleoambiental. Para complementar as informações, torna-se necessário analisar a composição florística e a serrapilheira local, tanto para auxiliar na compreensão da estabilidade dos vários morfotipos de fitólitos desde a planta até sua deposição e incorporação ao solo, como para a elaboração de uma coleção de referência que possa dar suporte à identificação e comparação de morfotipos de corpos silicosos entre famílias botânicas.

As gramíneas são as maiores produtoras de fitólitos, chegando a produzir vinte vezes mais que as dicotiledôneas. As células curtas, como os dumbbells, cross, rondel, saddle, square são produzidas por gramíneas e possuem significado taxonômico e ambiental. As células longas, como os bastonetes e estômatos silicificados, possuem significado apenas ambiental. As células mais arredondadas e de forma circular ou em blocos estão relacionadas às plantas arbóreas, como as palmeiras e as bromélias.

Os halteres, produzidos por gramíneas, são considerados lábeis, porém são pouco comuns em solos sob elas. Isto indica que são mais facilmente dissolvidos no processo de deposição e incorporação ao solo e/ou sedimentos. Apesar do arroz ser uma gramínea anual, encontrar halteres nas áreas já cultivadas com arroz não identifica esta cultura (COSTA *et. al.*, 2010a). Os fitólitos buliformes são úteis nesta identificação.

Pasqua *et. al.*, (2016) realizaram estudos de arqueobotânica em amostras de solo de Wormsloe Historical Site em Savannah, GA, USA. Nos solos e sedimentos estudados foram encontrados fitólitos buliformes bem preservados. Eles foram comparados com fitólitos de cinco variedades brasileiras e outras variedades chinesas. Medições de comprimento e largura dos fitólitos buliformes permitiram estabelecer a relação de comprimento/largura (C/L) para as variedades de arroz estudadas. A relação C/L obtida

foi de 0,85 a 1,15. Desse modo, foram considerados fitólitos buliformes de arroz aqueles que têm C/L na faixa de 0,85 a 1,15.

O silício possui grande importância para a microbiota na formação das frústulas das diatomáceas, composta essencialmente por sílica biogênica, que forma diferentes imagens em sua fase sólida, influenciando na taxonomia e nos aspectos morfológicos dos corpos silicosos. Os microorganismos atuam alterando o pH em micro sítios do solo e consequentemente influenciando na solubilidade do silício que depende do pH do meio (Costa *et. al.*, 2010a).

Solos ou sedimentos onde acumulam água, por drenagem deficiente, a matéria orgânica e os corpos silicosos são acumulados. Plantas que ocupam estes locais absorvem e polimerizam a sílica de forma mais eficiente durante o ciclo de vida de cada organismo.

Quanto mais heterogênea for a vegetação local, maior a variedade de corpos silicosos, visto que alguns morfotipos estão relacionados à determinadas famílias botânicas, desde ambientes áridos aos mais úmidos, com plantas herbáceas e lenhosas. Elas constituem a assembleia moderna fitolítica de uma área que serve de suporte para comparação com os fitólitos fósseis encontrados em solos ou sedimentos sendo utilizados para a reconstituição paleoambiental.

Há muita discussão sobre a essencialidade do Si para as plantas. Todavia, ele é muito importante na manutenção da estrutura das plantas, seu crescimento e desenvolvimento, pois reduz o tombamento e acamamento das mesmas. Além disso, ele diminui os efeitos do estresse salino, da seca, das doenças e das pragas. Segundo Epstein (1994; 1999), o silício é praticamente onipresente nos vegetais e, em geral, as concentrações de silício são maiores do que as de macronutrientes.

O teor de cinzas pode ser obtido após a calcinação da biomassa. Para calcular a porcentagem de cinzas é necessário pesar a matéria seca antes da calcinação. Esta informação pode ser útil para outros estudos de biomassa de determinadas plantas. A morfologia de fitólitos não depende de determinar a porcentagem das cinzas. É quase impossível obter cinzas sem alguma carbonização da biomassa submetida à calcinação. O consumo de oxigênio da atmosfera propicia o aparecimento de carvão nas cinzas que é muito difícil de ser removido e pode interferir na obtenção de imagens microscópicas dos fitólitos. Isso ocorre com alta frequência em biomassa das gramíneas. É necessário considerar o volume da câmara de calcinação da mufla. A pessoa encarregada desta etapa

necessita encontrar a relação adequada de matéria seca por grupos de plantas e o volume da câmara de calcinação.

Para a remoção de sais solúveis tem sido usado HCl concentrado e H₂O₂ 30% em bloco digestor por 20 minutos. Tanto em meio ácido como em meio básico ocorre a solubilização da sílica biogênica (Figuras 1 e 2). Esta solubilização é bem mais ativa acima de pH 9,0. Desta forma, o ácido concentrado pode danificar os fitólitos extraídos das plantas. Para evitar este tipo de dano, é mais seguro trabalhar com solução de 1 a 2 mol/L.

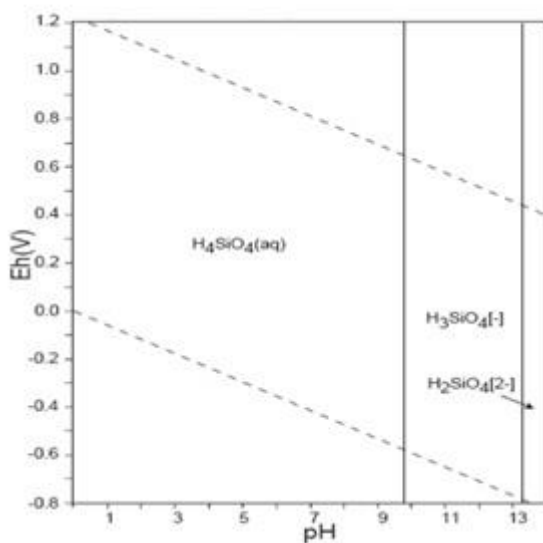


Figura 1: Diagrama de Eh pH do H₄SiO₄ (aq.)

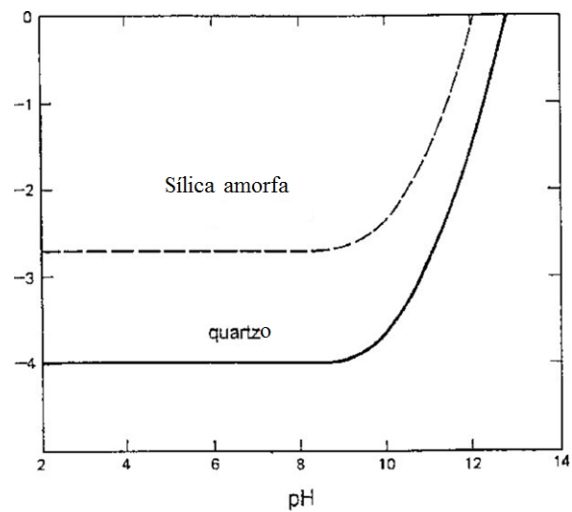
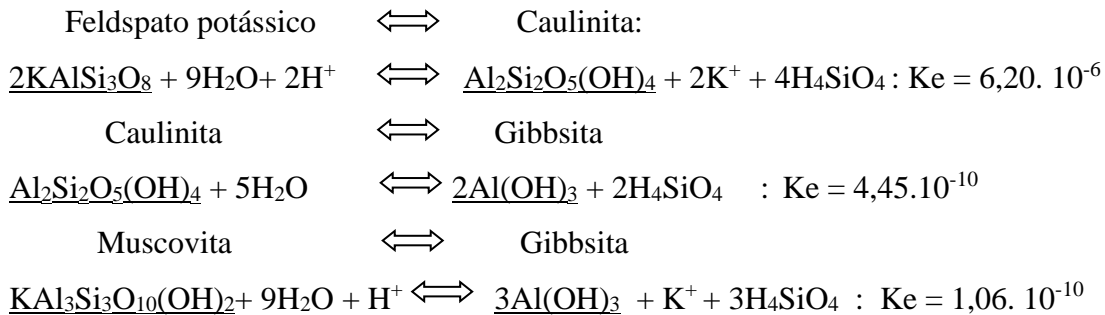


Figura 2: Solubilidade de SiO₂ vs. pH, calculada a partir de constantes termodinâmicas (Weast et al. 1986). Concentração total = H₄SiO₄ + H₃SiO₄ + H₂SiO₄⁻.

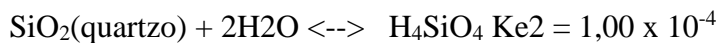
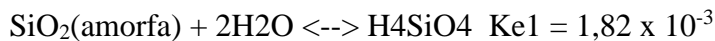
A figura 2 ilustra a diferença de solubilidade entre a sílica amorfa e o quartzo em função do pH. A partir de pH 9,0 há um considerável aumento da solubilidade da sílica. Ambientes com pH acima deste valor, os corpos silicosos tornam-se pouco preservados e sua utilidade como marcadores de eventos bioclimáticos de registro em solos ou sedimentos ficam prejudicados. Nota-se que no diagrama Eh – pH (Figura 1) as três espécies de sílica solúvel não dependem do potencial de oxirredução.

A espécie de H₄SiO₄ tem o maior campo de estabilidade em relação às outras duas. Ela predomina até pH 10. Esta é a forma mais importante na absorção de silício pelos vários seres vivos na formação dos corpos silicosos.

O ingrediente principal na formação de corpos silicosos é a forma solúvel de H_4SiO_4 que é proveniente de várias reações de intemperismo que são apresentadas a seguir:



Por meio das duas equações químicas, apresentadas abaixo, pode-se comparar a solubilidade da sílica amorfa com o quartzo. A água faz parte de todas as reações químicas apresentadas. Isso demonstra o quanto ela é importante na disponibilidade do H_4SiO_4 .



$$Ke_1 / Ke_2 = 1,82 \times 10^{-3} / 1,00 \times 10^{-4} = 1,82 \times 10^1 \text{ ou } 18,2 \times \text{solúvel}$$

Procedimentos Laboratoriais para a Obtenção de Biominerais de Plantas

Na extração de corpos silicosos de plantas, usa-se a calcinação da biomassa de várias partes das plantas como folha, caule, raiz na mufla a $500^\circ C$ por 2h. Em seguida, determina-se a massa da cinza que é submetida à remoção de sais solúveis em água e em ácido (HCl concentrado) e H_2O_2 30 % em bloco digestor por 20 min.

Se a planta possuir oxalato de cálcio (CaOx), ele é transformado em carbonato de cálcio ($CaCO_3$) no intervalo de temperatura de 346 a $420^\circ C$, que é dissolvido em ácido, caso seja lavado para a limpeza da cinza. Seguindo este procedimento, os CaOx são transformados em $CaCO_3$, pois o carbono da biomassa é transformado em CO_2 que reage com CaO e transforma em $CaCO_3$. Isto pode gerar falsos resultados, pois os silicofitólitos permanecem e os CaOx são transformados em $CaCO_3$ e dissolvido em meio ácido (COSTA *et. al.*, 2009)

As plantas produzem os calcifitólitos como reação ao seu metabolismo, sendo depositado em suas partes intra e extracelulares. Os oxalatos de cálcio desenvolvem

funções biológicas, ainda pouco entendidas, como, elemento estrutural na reserva de cálcio, depósitos metabólicos secundários, sequestro de íons metálicos e potencialmente tóxicos, formação de aerênquima de plantas aquáticas e proteção contra herbivoria. Os cristais de cálcio em plantas, geralmente, se apresentam das seguintes formas: cristais prismáticos, aciculares e drusas. Quando diferentes tamanhos de cristais são encontrados nas plantas, podem indicar que ela passou por diferentes estresses bióticos ou abióticos em condições ambientais (COSTA *et. al.*, 2009).

Durante a calcinação, o carbono orgânico que será queimado é bem maior do que o teor de cálcio. Desse modo, o cálcio controla a formação de CaCO_3 nas cinzas.

Em plantas que tenham oxalato de cálcio, não se recomendam a remoção de sais solúveis das cinzas, devido o carbonato de cálcio formado pela transformação do CaOx .

A mufla tem sido usada para calcinação de material vegetal e a extração de fitólitos. Tem sido observado que a mufla sem suprimento de oxigênio pode produzir partículas de carvão por faltar oxigênio para completar a calcinação da biomassa. Neste caso, é preciso reduzir a quantidade de material a ser calcinado. Durante a queima, ainda ocorre capeamento da sílica biogênica por óxidos de ferro e alumínio e sua remoção é bastante difícil. Sem removê-los, a observação ao microscópio ótico fica bem comprometida. Além disso, estes elementos são incluídos nas análises químicas dos fitólitos. Este capeamento não faz parte dos fitólitos (Figura 3), mas sem removê-los, eles são contabilizados como constituintes dos corpos silicosos. Algumas tentativas de remoção têm transformado os corpos silicosos em pó, o que desintegra totalmente as formas dos fitólitos.

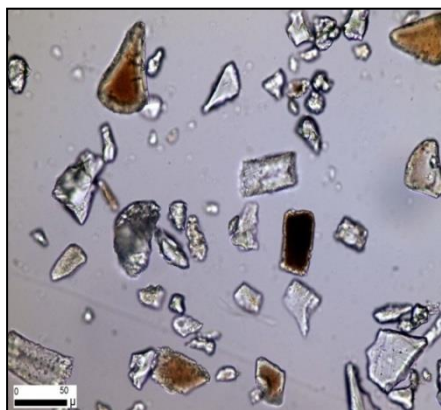


Figura 3 – Capeamento de fitólitos por óxido de ferro/alumínio.

A morfologia dos corpos silicosos tem recebido muita atenção dos pesquisadores da sílica biogênica. Deste modo, qualquer modificação morfológica é indesejável.

Solos e Sedimentos:

Nos solos e sedimentos, os corpos silicosos concentram-se principalmente nas frações silte (53 a 2 μm), areia muito fina (105 a 53 μm) e AF (250 a 105 μm). A dispersão tanto de solos como sedimentos é feita usando-se NaOH a 0,1 ou 0,5 mol/L. O tempo de contato do NaOH com os fitólitos pode causar a corrosão deles. Em caso de material rico em matéria orgânica a sua remoção é necessária por meio de oxidantes como H_2O_2 ou NaClO. A oxidação de formas reduzidas como a MOS, Fe^{2+} e Mn^{2+} gera o capeamento de corpos silicosos. Isso pode interferir nas análises químicas da sílica biogênica.

Quando se tem solos ou sedimento ricos em cálcio e MOS submetidos à calcinação pode produzir CaCO_3 . Neste caso, o CaCO_3 não é biomineral, mas foi formado durante o procedimento analítico. A presença de CaCO_3 não é compatível com solos ácidos muito comuns nos trópicos. Contudo, algumas condições de acúmulo de cálcio e matéria orgânica em solos ou sedimentos podem ser encontradas.

A agitação das amostras de solos e sedimentos usadas na dispersão não deve ser muito forte porque ela causa quebra nos corpos silicosos, especialmente naqueles mais alongados como as espículas de esponjas. A quebra de sílica biogênica pode ocorrer pelo transporte feito pela água ou vento ou procedimentos de laboratórios muito vigorosos. Deve-se evitar quebras em laboratório para não confundir com o transporte feito por água ou vento.

Estudo de estabilidade de fitólitos de capim Jaraguá (*Hyparrhenia rufa* Nees.) em diferentes doses de NaOH pode ser visto em Costa *et. al.*, (2010a). Entende-se que é necessário mostrar várias microfotografias de desgaste de halteres que são encontrados no referido trabalho. O acesso a este trabalho é uma tarefa muito simples. Assim, fica a critério de cada leitor consultá-lo.

Diferentes morfologias e tamanhos de frústulas de diatomáceas podem ser vistos no trabalho de Haeckel's (1904) e Costa (2012, não publicado).

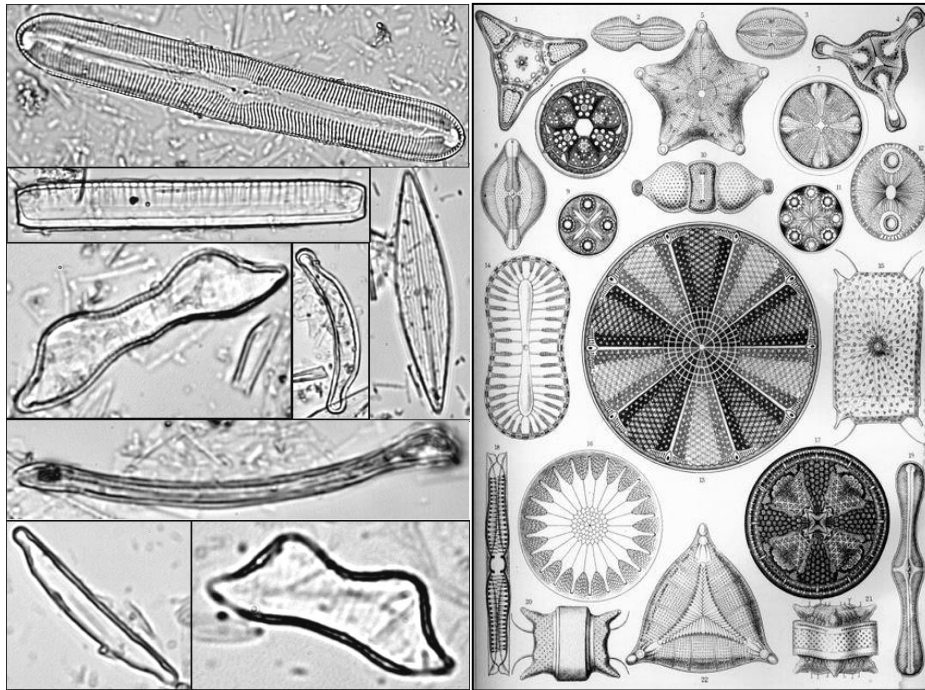


Figura 4 e 5: Diferentes morfologias e tamanhos de Frústulas de diatomáceas. **Fonte:** Haecklel's (1904) e Costa *et al.*, (2010), respectivamente.

Os dendritos vistos nas figuras 6 e 7 (dados não publicados) formados a partir da sílica biogênica dissolvida em NaOH devem ser adicionados neste trabalho como curiosidade e pela beleza deles. Eles foram registrados em microscópio ótico em grande número. As formas arborescentes demonstram uma tendência de alongamento que predomina sobre a largura e altura. Esta é uma tendência comum em grande parte de fitólitos encontrados nas plantas.

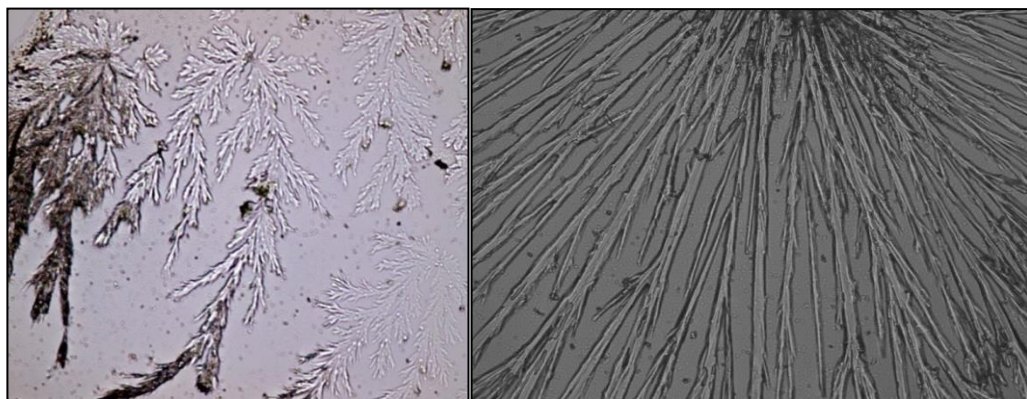


Fig. 6 e 7 - Dendritos formados após a dissolução de Sílica Biogênica (dados não publicados).

As infinitas morfologias de biominerais são um atrativo para dedicar-se mais tempo para estudá-las e compreendê-las. Aos poucos, novos interessados no assunto começam a participar de um pequeno grupo dedicado a ele. Avanços em aspectos morfológicos têm ocorrido. Quando se pensa na biodiversidade dos diferentes biomas brasileiros, ainda há muito a ser realizado pelos interessados nesta matéria. Em termos de composição química destes biominerais, o caminho é longo e apenas os primeiros metros foram percorridos. Este é um desafio para os atuais e futuros cientistas que possam dedicar-se a esta inquietante parte da ciência. Sem o aprofundamento em áreas básicas como a química do importante elemento silício, os avanços serão muito limitados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A primeira palavra do título deste artigo é estabilidade. Esta palavra tem pouco significado quando as considerações ambientais ao redor dos biominerais não forem bem definida e entendidas para que o termo possa ter algum significado. As condições climáticas passadas e atuais devem receber atenção especial, principalmente a disponibilidade de água e a variação térmica.

Estas duas variáveis são muito relevantes na produção e na dissolução dos biominerais. A matéria prima principal na formação da sílica biogênica é proveniente do intemperismo de alguns minerais primários ou secundários, como aqueles citados neste texto. A principal forma solúvel em água do silício é o H_4SiO_4 que é absorvida pelos seres vivos que sintetizam biossílica, por meio da polimerização desta espécie química.

O potencial redox do ambiente tem efeito apenas indireto sobre o silício, já que este elemento não reduz e nem oxida em condições ambientais mais comuns do planeta Terra. O pH do meio tem importância destacada na solubilidade da sílica biogênica no ambiente onde for depositada. Em áreas mal drenadas a sílica biogênica se acumula pela adição de biomassa de diversas fontes. Na extração de sílica biogênica usa-se a calcinação em mufla entre 500 a 600°C. Os corpos silicosos apresentam uma pequena contração, mas não são desfigurados. Eles podem ser preservados em fragmentos de carvão vegetal e indicar a espécies que originaram os carvões. Desse modo, uma forma de preservar a sílica biogênica aquela contida nos fragmentos do carvão. Este é muito mais estável em solos e sedimentos do que a sílica biogênica. A demanda por silício pela microbiota dos solos e sedimentos pode ser uma importante causa de dissolução da biossílica.

Finalmente, a dissolução da sílica biogênica é o universo da sua preservação. As variáveis ambientais que ajudam na preservação dificultam a dissolução da biossílica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORBA-ROSCHER, M.; ALEXANDRE, A. VARAJÃO, A.F.D.C. ; MEUNIER, J.D.; VARAJÃO, C.A.C.; COLIN, F. Phytolith as indicators of pedogenesis and paleoenvironmental changes in the Brazilian Cerrado. **Journal of Geochemical Exploration**, 88, 1, 172-176, 2006,

CALEGARI, M. R. ; MADELLA, M.; VIDAL-TORRADO, P.; PESSEDA, L.C.R.; MARQUES, F.A. Combining phytolith and $\delta^{13}C$ matter in Holocene paleoenvironmental studies of tropical soils: An example of an Oxisol in Brazil. **Quaternary International**. 287, 32, 47-55, 2013.

COSTA, L.M. TRONTO, J.; CONSTANTINO, V.R.L. FONSECA, M. K. A.; OLIVEIRA, A. P. COSTA, M. R. Extraction and concentration of biogenic calcium oxalate from plant leaves. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. 33, 33, 2009. Nota.

COSTA, L.M.; TRONTO, J.; MOREAU, M.S.; MOREAU, A. M^a. S.S. Estabilidade físico-química e fracionamento da sílica biogênica. In: RODRIGUES, F. A. (Ed.) **Silício na Agricultura**. Viçosa. p.89-109. 2010a.

COSTA, L.M.; MOREAU, A. M^a. S.S.; MOREAU, M.S. Estabilidade da sílica biogênica extraída de capim Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*) em solução de NaOH. **Quím. Nova**, São Paulo, 33, 8, 1658-1663, 2010b.

EWALD, P. L.L.F. **Análise da Assembleia Fitolítica do Solos Aplicada no Holoceno Médio: Caso da Estação Ecológica da Mata Preta – Abelardo Luz (SC)**. Dissertação de mestrado em Geografia, Universidade do Oeste do Paraná, Unioeste, Campus Francisco Beltrão. 2015, 111p.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, USA. 91, 11- 17, 1994.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. 50, 641 – 644, 1999.

HAECKEL, E. **Kunstformen der Natur**. Leipzig und Wien. Verlag des Bibliographischen Instituts. 1904.

LUZ, L. D.; KALINOVSKI, E. C. Z.; PAROLIN, M.; SOUZA-FILHO, E. E. S. Estágio Atual do Conhecimento sobre Fitólitos no Brasil. **Revista Terra e Didática**, 11, 152-64, 2015.

MADELLA, M; LANCELOTTI, C. Taphonomy and phytoliths: a user manual. **Quaternary International**. 275, 76-83, 2012.

OSTERRIETH, M. *et. al.*, Taphonomical aspects of silicaphytolith in the loess sediments of the Argentinean Pampas. **Quaternary International**. 193, 70-79, 2009.

PASQUA, A.; COSTA, L. M.; GARRISON, E. Phytolith evidence of historical Rice cultivation at Wordmsloe Historic Site, Georgia, USA. **Journal of Archaeological Science: Reports** 14, 557 – 574, 2017.

PIPERNO, D. R. **Phytolith analysis**. An archaeological and geological perspective. Academic Press, San Diego, 1988.

PIPERNO, D. R. **Phytoliths: A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists**. Lanham MD, Alta Mira Press. 2006 p. 238.

RODRIGUES, B.M. **Bioturbação e Distribuição de Fitólito em Latossolos da Depressão Periférica Paulista**. Dissertação de mestrado em Ciências, Universidade de

São Paulo – USP, Campus da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz –
ESALQ. Piracicaba. 2019, 80p.