



ANAIS do 14º Congresso Nacional de Espeleologia
Belo Horizonte MG, 04-06 de abril de 1980 - ISSN 2178-2113 (online)

O artigo a seguir é parte integrando dos Anais do 14º Congresso Nacional de Espeleologia disponível gratuitamente em www.cavernas.org.br/14cbeanais.asp

Sugerimos a seguinte citação para este artigo:

LINO, C.. Espeleotemas. In: RASTEIRO, M.A.; CÂMARA, A.. (orgs.) CONGRESSO NACIONAL DE ESPELEOLOGIA, 14, 1980. Belo Horizonte. *Anais...* Campinas: SBE, 2018. p.1-14. Disponível em: <http://www.cavernas.org.br/anais14cbe/14cbe_001-014.pdf>. Acesso em: *data do acesso*.

Consulte outras obras disponíveis em www.cavernas.org.br

ESPELEOTEMAS

Clayton LINO

INTRODUÇÃO

O trabalho que aqui apresentamos compõe-se em grande parte de matéria preparada para o livro "CAVERNAS" (Ed. Melhoramentos, no prelo) que o autor, em conjunto com João Allievi, publicará em breve.

Busca ele dar uma visão abrangente ainda que incompleta do que se conhece a respeito dos espeleotemas encontrados em cavernas brasileiras, ou seja, sua tipologia, sua distribuição, sua formação e crescimento, sua raridade, etc.

Trata-se de um trabalho introdutório que servirá de base para um estudo mais aprofundado que o autor vem desenvolvendo sobre um aspecto ainda desconhecido do que poderíamos denominar de "uma ecologia dos espeleotemas", que abordamos nesta introdução a título de solicitar a colaboração dos colegas que praticam a espeleologia em todo o Brasil, sem a qual tal estudo seria em muito prejudicado.

Este estudo "ecológico" parte do pressuposto que a distribuição e ocorrência dos espeleotemas em nossas cavernas não se dá de forma aleatória: alguns deles existem tanto dentro como fora das cavernas (em túneis, viadutos, edifícios de concreto armado, etc.) enquanto que outros só se encontram em ambientes muito específicos de algumas grutas em certas regiões.

Notamos ainda em nossas pesquisas e nas constantes observações em dezenas de cavernas ao longo destes anos de espeleologia que existe uma certa organização, regra, lei e/ou coincidência que agrupa certos tipos de espeleotemas com certa regularidade e frequência. Isto nos levou a estudar tais agrupamentos e as relações entre os espeleotemas (e entre estes e o meio onde se encontram) a fim de abrir um novo ângulo de visão e eventualmente uma nova fórmula para o estudo da gênese, crescimento e condicionantes gerais a que tais espeleotemas estejam sendo submetidos.

É uma linha de pesquisa que, sem desprezar o estudo de cada tipo de espeleotema individualmente, se debruça com especial atenção na formação de "famílias", grupos tipo, que permitam um estudo comparativo e articulado.

É fato conhecido que a cada estalactite corresponde uma estalagmite e vice-versa. Exceções

existem, mas a regra é geral. Da mesma forma a presença de "vulcões", pérolas, cristais dentes de cão, triângulos de calcita, jangadas, madas e "clavas", etc., geralmente estão intimamente associadas à presença prévia ou simultânea de represas de travertino. Estes últimos espeleotemas são por sinal talvez os mais importantes "berços" (matrizes) para o desenvolvimento de outros tipos de deposição mineral em caverna estando, por sua vez, relacionadas à inclinação, material, relevo, etc., dos pisos das grutas onde ocorrem.

Alguns espeleotemas formam-se somente nos pisos das grutas, outros só nos tetos ou paredes; outros ainda somente sobre outros espeleotemas, outros apenas em entradas de caverna, etc., etc.. Tal distribuição e zoneamento certamente não é aleatório. O estudo está ainda apenas no início.

Dessa forma, apresentamos a seguir a primeira fase, que corresponde aos levantamentos iniciais.

CAVERNAS

ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO DOS ESPELEOTEMAS

Até o momento não existe uma classificação padrão, universalmente adotada, para os diversos tipos de espeleotemas.

As classificações mais comuns são aquelas que levam em conta a forma e os estilos dos diversos espeleotemas, reunindo-os em grupos geralmente pouco sistematizados.

Guimarães (1966) distingue 3 grupos de espeleotemas levando em conta seu processo de formação: depósitos de águas circulantes, depósitos de águas de exsudação e depósitos de água estagnada.

Adotando esta classificação, introduziríamos uma (4) categoria: os depósitos de origem mista.

Assim teríamos:

1. DEPÓSITOS DE ÁGUAS CIRCULANTES

São os espeleotemas formados pela deposição do carbonato de cálcio contido em soluções aquosas que se movem nas cavernas por força da gravidade.

Tais espeleotemas recobrem tanto os tetos e paredes da caverna como seu piso, sendo formadas através dos dois mecanismos de deposição básicos: o gotejamento e o escorrimento.

As formas desse grupo são as mais frequentes em cavernas de todo o mundo sendo encontradas inclusive em diversos ambientes artificiais como túneis de mineração e em diversos ambientes urbanos onde predominam as construções de concreto armado. Dessa forma, são comuns estalactites, cor tinas, estalagmites e diversos escorrimentos em pontes e viadutos, túneis, galerias do metrô e em inúmeros edifícios.

Estalactites - são os mais comuns espeleotemas sendo encontrados em praticamente todas as cavernas calcárias conhecidas no mundo.

Sua gênese é, sem dúvida, uma das mais simples: a gota de água contendo carbonato de cálcio em solução ao emergir das fissuras do teto da caverna fica presa ao mesmo por alguns minutos até atingir um volume com peso suficiente para vencer a tensão superficial e cair. Neste tempo, libera-se o anidrido carbônico (CO₂) na atmosfera da caverna, a solução fica supersaturada e precipita-se então um delicado anel de calcita, no contato da gota com o teto. Gota após gota, anel após anel, forma-se a estalactite tubular, cilíndrica e oca, semelhante a um “canudo de fresco” que cresce verticalmente do teto para o piso da caverna.

Estes canudos têm, em média, entre 6mm e 8mm de diâmetro com paredes de aproximadamente 0,5mm de espessura e chega excepcionalmente a atingir 3 metros de comprimento como na magnífica “galeria do nirvana”, na caverna de Santana (Iporanga/SP).

Geralmente cada anel é depositado em continuidade cristalográfica com o anterior constituindo um único cristal o que é evidenciado pelo paralelismo dos planos de clivagem quando se parte uma estalactite desse tipo.

A razão do crescimento destas estalactites tubulares varia de local para local e de época para época mas, segundo estudos realizados em diversas partes do mundo, o crescimento anual destes espeleotemas é da ordem de 0,3mm.

Esta média tem por base o crescimento de espeleotemas em cavernas de regiões temperadas; sabe-se, no entanto, que em meio tropical este crescimento é geralmente bem maior. Várias são as razões, dentre as quais se salientam o maior índice pluviométrico, as maiores temperaturas e a

cobertura vegetal intensa o que aumenta a pressão de CO₂ no solo.

As estalactites também crescem em diâmetro: o tubo original é normalmente poroso e a água pode, pelos interstícios e pelos planos de clivagem do mineral depositado, sair pelo lado externo da estalactite, depositando ali parte do material que transporta. Isto geralmente ocorre quando o canal central é obstruído pelas impurezas trazidas pela água de infiltração ou pelo crescimento de cristais nas paredes internas.

A água represada no conduto central também emerge pelos poros existentes no contato do teto com a estalactite, escorrendo pelas paredes externas da mesma, depositando finas lâminas de calcita que a envolvem. A deposição maior da calcita no topo superior da estalactite lhe confere a forma cônica tradicional.

O desenvolvimento da estalactite e a evolução do seu sistema cristalino depende da intensidade e da constância da deposição. A deposição lenta e constante dá origem a uma estrutura monocristalina com todos os cristais seguindo a orientação do canudo original. Quando porém a deposição se dá de forma muito rápida ou intermitente, a camada recém depositada é formada por cristais em forma de cunha que se orientam perpendiculares ao eixo do canudo original dando origem a uma estrutura cristalina radial. Nos dois casos, no entanto, o aspecto externo da estalactite é o mesmo.

Além das estalactites tubulares e das estalactites cônicas existem outras com secção elipsoidal e aspecto lamelar e formas complexas onde duas ou mais estalactites estão reunidas em uma só peça, dando origem a ornamentações às vezes gigantescas.

Outras estalactites curiosas e raras são as excêntricas e os espirocones.

As estalactites excêntricas se apresentam normalmente como formas espiraladas ou com curvaturas pronunciadas sendo, por vezes, confundidas com as helicites (que veremos mais adiante) apesar de sua estrutura e gênese diferente das últimas. São bastante comuns em cavernas do norte de Goiás, sendo raramente encontradas no sul do país. São formadas de calcita e possuem um conduto central por onde desce a gota d'água.

Os espirocones, por sua vez, são estalactites de aragonita que ainda não tem sua gênese devidamente estudada. Lembra em aspecto um saca-rolhas sendo que, em cada uma de suas voltas,



existe uma abertura de forma cônica com diâmetro maior voltado para o piso. Tais espeleotemas são muito raros existindo, no entanto, em grande profusão na Caverna São Mateus, em Goiás.

Cortinas - quando a gota d'água emerge em uma parede ou teto que seja inclinado, ela escorre pela sua superfície deixando um fino rastro de CaCO_3 , que, com a continuidade do processo, cresce verticalmente dando origem a uma lâmina de calcita ondulada, branca e translúcida.

Estas lâminas, denominadas cortinas, quando são formadas apenas pela deposição de calcita em sua borda inferior, tem uma espessura da ordem de 6mm. A existência, no entanto, de escorrimento laterais aumenta a espessura de sua parede atingindo até 10cm em alguns casos.

Os cristais depositados na borda inferior da cortina são orientados perpendicularmente à superfície de crescimento e os provenientes dos escorrimentos laterais apresentam-se paralelos aos mesmos.

Às vezes, por alternância de soluções puras e impuras, as cortinas apresentam um bandeado de cores que lhes dão o aspecto de “bacon”, nome este que se popularizou internacionalmente.

Outra interessante característica das cortinas é o som metálico semelhante ao de sinos que emite quando tocadas com habilidade. Tal peculiaridade foi aproveitada em uma caverna turística americana onde as cortinas foram utilizadas como componentes de um extraordinário órgão que executa músicas sacras e eruditas.

Estalagmites - A gota que cai do teto (ou de uma estalactite), ao chocar-se contra o piso da caverna, deixa precipitar a calcita que ainda trazia dissolvida.

O contínuo gotejar e a correspondente deposição da calcita dão origem a um espeleotema conhecido como estalagmite que cresce verticalmente a partir do solo.

As novas gotas, chocando-se contra a extremidade superior da estalagmite, depositam ali, no centro do topo, maior parte da calcita que transportam. Escorrendo pelas laterais do espeleotema, ainda em sua parte superior, também precipitam calcita de forma que a deposição como um todo se dá através de capas côncavas de calcita que se superpõe.

Esta superposição verticalizada de capas côncavas dá á estalagmite formas cilíndricas ou

cônicas que, não raras vezes, atingem vários metros de altura e mais de 1 metro de diâmetro.

Na estalagmite os cristais estão geralmente orientados radialmente perpendiculares a superfície de crescimento sendo ausentes condutos centrais como os que ocorrem nas estalactites.

Tendo sua formação associada às estalactites, apresentam razão de crescimento da mesma ordem e são, após elas, os espeleotemas mais comuns nas cavernas.

O diâmetro das estalagmites que varia de 3cm a alguns metros, assim como suas formas mais ou menos regulares, é função da intensidade e concentração da solução gotejante. A constância nestes fatores confere à estalagmite um diâmetro uniforme e, neste caso, que quando o comprimento é muito maior que o mesmo, elas são denominadas velas: Belíssimos exemplos deste tipo de estalagmite são encontrados no “Salão da Catedral”, na Caverna do Diabo (Eldorado/São Paulo).

Várias são as formas típicas de estalagmites encontradas em nossas cavernas, as terraçadas (ou “pilhas de prato”) que indicam variações periódicas na intensidade da deposição; as estalagmites cônicas (bolo de noiva, buda, etc] que indicam um decréscimo nesta intensidade e/ou na concentração de carbonato da solução e as formas complexas (cactos, etc.) que são formadas a partir de mais de um ponto de gotejamento (2 estalactites, por exemplo) ou pelo deslocamento do ponto de gotejamento.

Colunas - São as formas verticais e geralmente cilíndricas que se originam da união de estalactites e estalagmites ou do crescimento “exagerado” de uma delas unindo teto e piso das galerias e salões da caverna.

Não raras vezes são formadas pela reunião de várias estalactites e estalagmites e atingem, tanto em altura como em diâmetro, enormes proporções.

Escorrimentos de Calcita - São depósitos laminados que recobrem as paredes e pisos das cavernas cuja origem se deve à precipitação da calcita dissolvida nas águas que escorrem pelas mesmas.

Os cristais de calcita depositados se orientam geralmente segundo a perpendicular à superfície de crescimento e o espeleotema apresenta coloração muito variada incluindo o branco imaculado, o vermelho vivo e diversas tonalidades marrons e alaranjados.

Quando tais escorrimentos criam volumes arredonda dos e dependuram-se pelas paredes da caverna recebem o nome de cascatas de pedra sendo igualmente conhecidas como órgãos quando suas bordas são ornamentadas por estalactites cortinas.

As formas de piso recebem o nome genérico de placas estalagmíticas e, várias vezes, pela remoção do solo da gruta por fortes correntes d'água, estas placas ficam suspensas dividindo 2 pavimentos sendo, neste caso, denominadas marquises. Belos exemplos de marquises são encontrados na Gruta das Areias (Iporanga) e na Caverna do Diabo (Eldorado), ambas no Estado de São Paulo.

Os escorrimentos por vazas dão origem a depósitos cujos cristais se orientam sem uma direção predominante criando superfícies multifacetadas que, quando iluminadas, apresentam um belo efeito cintilante que lhes confere o nome popular de "chão de estrelas".

Represas de Travertino - São formas especiais de escorrimento semelhantes a pequenos diques, de calcita, que represam em patamares escalonados, a água que escorre pelos pisos das cavernas. Em aspecto lembram uma "escada alagada" cujas paredes são lamelares e sinuosas com concavidade voltada para a corrente d'água.

Sua gênese ainda é controvertida especialmente pela regularidade com que estas "piscinas" se sucedem ao longo de pisos inclinados.

A deposição da calcita se dá nas bordas superiores das paredes da represa que tem crescimento vertical e sempre nivelado.

Devido às impurezas da água sua coloração é geralmente marrom existindo formas de tons laranja e vermelhos como os encontrados nas cavernas de Goiás e na Caverna da Laje Branca (Iporanga/SP).

As dimensões dessas represas são muito variáveis atingindo desde poucos milímetros de altura (que dão ao piso um desenho rendilhado e vesicular) a vários metros, formando verdadeiras maravilhas como os existentes nas cavernas São Mateus, São Vicente e Angélica (São Domingos/Goiás) e na Gruta dos Brejões (Irecê/Bahia).

Por vezes, dando o grande volume e a regularidade na deposição das represas superpostas, o espeleotema é denominado "Pueblo" pela sua semelhança formal a este tipo de habitação coletiva.

Quando em suas microformas, as represas de travertino podem ocorrer sobre estalagmites e diversos outros espeleotemas de piso. Um espetacular exemplo é o dos microtravertinos que recobrem certas "pérolas de caverna" (descrita adiante) encontrados na Gruta de Pérolas, em Iporanga (São Paulo) ou ainda dos existentes sobre estalagmites arredondadas na Caverna Água Suja, no mesmo município. Neste local tais espeleotemas têm o aspecto dos corais marítimos conhecidos vulgarmente como "cérebros".

Estes espeleotemas, por represarem águas ricas em carbonato, são ainda um dos mais importantes "berços" para a formação de diversos outros depósitos minerais em caverna dentre os quais se destacam os cristais "dentes de cão", os "vulcões" e as "jangadas" que descreveremos adiante.

Conglomerados - As águas carbonatadas que circulam pela superfície e pelas camadas superiores do solo da caverna são ainda responsáveis pela cimentação de seixos, areias e argilas em blocos e camadas ditas conglomeráticas.

Tais camadas conglomeráticas são importantes depósitos que permitem um estudo mais profundo da evolução morfológica das cavernas. O exemplo mais coerente é o das camadas deste tipo formadas pela cimentação de seixos de antigos leitos de rios subterrâneos que, pela sua consolidação, ficam presos às paredes e tetos da caverna a testemunhar a passagem anterior do mesmo por aquele local.

Estas camadas conglomeráticas são comuns em grande parte das cavernas conhecidas, no entanto, vale a pena citar os interessantes exemplos que ocorrem na Caverna Morro Preto e nas Cavernas Água Suja e Alambari de baixo, em Iporanga (São Paulo) onde tais camadas, com metros de espessura, resistem a mais de 10 metros de altura dos pisos atuais.

Concreções - São agregados sedimentares, geralmente de calcita, que revestem ou englobam pequenos núcleos existentes na superfície do solo das cavernas. Tais núcleos podem ser pequenos grãos de areia, fragmentos de rocha ou de outros espeleotemas, fragmentos vegetais, ossos, conchas de molusco e inúmeros outros suportes.

O aspecto final dessas concreções é variável em função da forma do núcleo recoberto e da textura do revestimento que pode ser rugosa, áspera ou perfeitamente lisa.

As formas mais comuns são as de pequenos bastonetes, as elipsoidais e as perfeitamente esféricas sendo normalmente estas últimas concreções, pela sua especial estrutura, denominadas “pérolas de cavernas”.

Pérolas de Cavernas - Também denominadas pisólitos ou oolitos (do grego oon-ovo e lithos-pedra) são um dos únicos espeleotemas que não se apresentam presos nos tetos, paredes ou pisos das cavernas. São geralmente formados em pequenas cavidades do piso de minadas “ninhos” a partir de núcleos diversos (areia, quartzo, etc.) sob fluxo constante de água que goteja dos tetos.

Suas dimensões variam de poucos milímetros a 20cm de diâmetro sendo raras as formas que ultrapassem aos 3cm de raio. A pérola esférica de 20cm de diâmetro encontrada na Caverna São Mateus, em Goiás, é um exemplo excepcional em termos mundiais. Outras peças encontradas com dimensões semelhantes apresentam em sua maioria formas irregulares e superfícies “enrugadas”.

O corte de uma pérola mostra a existência de suas partes: o núcleo já descrito, e o envoltório.

O envoltório é formado pela superposição de camadas concêntricas de calcita, cujos cristais se apresentam perpendiculares a superfície de crescimento do espeleotema.

Em cavernas europeias e americanas, são descritas pérolas cujas camadas são formadas ora de aragonita ora de calcita. No Brasil, no entanto, todas as pérolas estudadas (Guimarães, 19) são formadas exclusivamente pela calcita, independentemente das impurezas nela encontradas.

Comumente, as camadas apresentam colorações diferentes pela presença de impurezas diversas e suas espessuras são variáveis de dezenas de micros a 5mm, conforme as variações das condicionantes locais de hidrologia e meteorologia.

Tais variações implicam igualmente na variação da deposição da calcita ao longo do tempo o que dificulta os estudos relativos a velocidade de crescimento do espeleotema.

Levando-se em conta pesquisas realizadas em diversas partes do mundo, poderíamos considerar que o crescimento médio dessas pérolas se situa entre 0,2 a 2 milímetros por ano.

As camadas iniciais têm suas formas comprometidas com a forma do núcleo que recobrem, sendo aos poucos sucedidas por outras mais regulares e geralmente mais esféricas.

Para a formação destas estruturas esféricas parece, segundo vários autores, ser necessária a agitação e rotação constantes da pérola. Tal requisito é discutível e polêmico.

Em casos de pérolas como a de 20cm da Caverna São Mateus, dada as dimensões e o peso das mesmas, a rotação seria dificilmente explicada através de gotejamento ou escorrimento. Na mesma caverna, no entanto, foram observadas pérolas com cerca de 2,5cm em visível movimento de rotação sob o fluxo do gotejamento.

Outra teoria que tenta explicar o revestimento total da pérola e sua correspondente esfericidade é a que apela para a “força de cristalização” da calcita que seria em alguns casos, capaz de “levantar” o espeleotema, desde que existisse entre o cristal (na superfície inferior da pérola) e o suporte sólido (ninho) uma lâmina de solução capaz de fornecer o composto para a precipitação da calcita.

Acreditamos que ambas as teorias tenham importância na explicação da gênese destes interessantes espeleotemas, mas, por outro lado, faltam ainda muitas pesquisas para que se chegue a uma compreensão maior de sua formação.

No sentido de ampliar tal discussão, trazemos 3 exemplos de depósitos de pérolas que mereceriam especial estudo: os dois primeiros apresentam-se de formas semelhantes, sendo um na Gruta das Pérolas (Iporanga/São Paulo) e outro na Caverna São Mateus (São Domingos/Goiás). Nestes dois locais, em pisos inclinados, cobertos por pequenas represas de travertino, espalham-se centenas de pérolas perfeitamente esféricas.

O terceiro exemplo e, sem dúvida, o mais notável, ocorre na Gruta dos Paivas (Iporanga/São Paulo). Nesta caverna, toda uma sala de mais de 5 m² e recoberta por uma “camada” de cerca de 20cm de espessura formada por milhares e milhares de pérolas. Estas pérolas, com dimensões variando entre alguns milímetros e 2cm de diâmetro, têm superfície lisa e coloração marrom clara.

Nos três casos não se pode falar em ninhos muito delimitados, não existe gotejamento constante e seria difícil explicar o envolvimento de tantos núcleos pelo processo citado no início. Atualmente, os locais são secos e nestas cavernas não existem áreas com quantidades comparáveis destes tipos de espeleotema.

Nas diversas cavernas, assim como nos locais distintos das mesmas as pérolas apresentam-se com superfícies diferenciadas. Nos casos mais comuns

tem superfície áspera e marrom, existindo ainda formas revestidas com grosseiras saliências, cristais cintilantes ou perfeitamente lisas brancas cujo aspecto invoca um processo de continuo polimento. Outras vezes, especialmente se situadas junto às bordas do “ninho”, as pérolas são cimentadas ao piso e lentamente envolvidas por escorrimentos que interrompem sua formação.

Couve-flor - São depósitos de calcita de superfície rugosa e porosa que recobrem núcleos, paredes, pisos ou outros espeleotemas existentes nas cavernas.

Sua formação se dá a partir do gotejamento de água dos tetos e correspondente borrifamento da gota em seu choque contra os pisos. Este borrifamento faz com que a calcita dissolvida nas gotículas d'água se precipite de forma irregular e dispersa sobre os suportes vizinhos.

Assim, grandes áreas dos pisos e paredes são recobertas por estes espeleotemas, geralmente pouco consistentes, cuja aparência final, ramificada e irregular, lembra o vegetal de onde se originou seu nome.

Extensas áreas são recobertas por estes depósitos em diversas grutas. Bons exemplos são encontrados nas Cavernas Arataca e Alambari de Baixo (Iporanga/São Paulo) e no “salão dos cactos” da Caverna São Mateus.

Cálice - O gotejamento, quando ocorre sobre solos não compactados e pouco consistentes (caso de depósito de areias ou argilas nas margens dos rios), escava pequenos orifícios no piso da caverna. A continuidade do processo vai aprofundando tais orifícios ao mesmo tempo que, pela precipitação da calcita (à semelhança da formação das estalagmites) vai cimentando as paredes internas do mesmo e, pelo borrifamento, vai criando um bordo (lábio) superior.

As variações do nível das águas em estações de chuva e seca (mais pronunciadas nas regiões do Brasil Central) faz com que, comumente, a areia ou argila acumulada em uma época seja removida pelas águas da estação seguinte. A remoção dessa camada do solo da gruta põe à mostra a estrutura do precipitado que se apresenta como um cálice de pedes tal curto, corpo alongado (cilíndrico ou cônico) e bordas salientes e horizontalizadas.

Estes espeleotemas foram observados pela primeira vez em 1973 na Caverna São Mateus, em Goiás, onde são muito frequentes sendo até o

momento não descritos em cavernas de outras regiões brasileiras.

2. DEPÓSITOS DE ÁGUA DE EXSUDAÇÃO

São os espeleotemas formados a partir das soluções aquosas que circulam lenta e descontinuamente pelos poros da rocha envoltória da caverna.

Estas soluções se movimentam por capilaridade e diversos fatores como a diferença de temperatura e pressão entre os poros da rocha e o vazio das cavernas, depositando a calcita até então dissolvida.

Essa deposição é muito lenta e não se dá a partir de formação de gotas como na estalactite. Como não se formam gotas, a força da gravidade (representada no caso pelo peso das gotículas d'água) não chega a afetar o crescimento do espeleotema que, então, se direciona em função da deposição dos cristais inicialmente depositados, afastando-se normalmente da verticalidade.

Tomam formas por vezes bizarras, geralmente belas e delicadas, sendo em sua maioria de pequenas dimensões e de coloração quase sempre branca.

São espeleotemas tipicamente “cavernícolas” sendo formados apenas naquelas cavidades e, mesmo assim, restritos a certos ambientes internos com especiais condições de microclima (pressão, temperatura e umidade) de composição da rocha envoltória no local e inúmeros outros fatores.

Entre os espeleotemas deste grupo se destacam os seguintes:

Corais - São formações nodosas com aspecto de cachos que ocorrem tanto nos pisos e paredes rochosas da caverna como, e principalmente, sobre escorrimentos e outros espeleotemas.

Seus componentes, em forma de esferas, pipocas ou cogumelos (nomes pelos quais também são conhecidos) são de pequenas proporções alcançando em média cerca de 1 cm de diâmetro.

Sua estrutura, mostrada em corte, é bandeada com cristalização radiada, não possuindo conduto central. A coloração varia entre o branco amarelado e o marrom escuro pela presença de impurezas na calcita.

Interessantes exemplos deste tipo de espeleotema ocorrem na Gruta dos Cogumelos (Iporanga/SP) e nas cavernas de São Domingos (Goiás).

Escudos ou Discos - São espeleotemas planos de forma circular ou semi-circular que se projetam ora oblíqua ora perpendicularmente às paredes da caverna.

Estas estranhas estruturas planas têm poucos centímetros de espessura e comumente mais de um metro de diâmetro e, apesar de raramente encontradas, quando o são, geralmente ocorrem em grupo.

O exemplo mais notável até agora conhecido em cavernas brasileiras é o existente na “sala do disco” da Caverna de Santana onde vários espeleotemas desse tipo aparecem, sendo em todos os casos ornamentados por cortinas e estalactites nas suas faces inferiores. Tais ornamentações dão aos mesmos o aspecto de “púlpitos”, nome pelo qual também são conhecidos.

A gênese e formação destes espeleotemas foi estudada por J. Kunsky (1950), Kunder (1952) e Moore [1952].

Kunsky o classifica como “o análogo bidimensional da estalactite” e Kunder demonstrou que a orientação dos escudos [segundo suas pesquisas nas Lehman Caves] seguem a orientação das juntas existentes no calcário encaixante.

A água existente nas juntas da rocha movimentada-se por pressão hidrostática e, atingindo a borda das mesmas deposita ali uma primeira película de calcita. A deposição prossegue formando duas placas paralelas de calcita separadas por uma fratura plana que se orienta segundo o plano da junta do calcário.

Quando a junta foi devidamente alargada ou a pressão hidrostática torna-se muito alta, a lâmina d'água capilar aumenta, formando gotas que, cruzando a placa inferior do escudo, irão dar origem às ornamentações como as anteriormente citadas.

Helictites - São um dos mais belos e delicados espeleotemas conhecidos e, apesar de relativamente raros nas cavernas europeias e americanas, são muito frequentes e têm especial desenvolvimento nas cavernas de áreas tropicais como nas do Brasil.

Apresentam-se geralmente como pequenas estruturas de formato retorcido ou espiralado (de onde surgiu seu nome), com coloração branca e/ou transparente. Suas dimensões são geralmente reduzidas (poucos centímetros) atingindo, no entanto, excepcionalmente, cerca de 1 metro como algumas formas que ocorrem no “Salão Taqueupa” da Caverna de Santana.

Apesar de serem normalmente encontrados nos tetos e paredes das grutas ocorrem frequentemente em meio a outros espeleotemas, especialmente estalactites e cortinas. Também são encontrados sobre escorrimento de calcita que recobrem os pisos de algumas cavernas.

Sua gênese é uma das mais controvertidas. Seu crescimento ocorre geralmente a partir do empilhamento sucessivo de camadas cônicas de calcita que são depositadas em sua extremidade livre.

Apresenta um canal central semelhante às estalactites mas de diâmetro muito menor (cerca de 0,01mm) pelo qual, se supõe, a água carbonatada proveniente dos poros de calcário circula lentamente sob pressão hidrostática não chegando a formar gotas.

Na extremidade deste conduto (e do espeleotema) a deposição se daria na forma de cones interligados por forças de cristalização que, no caso (dada a quantidade ínfima de água e correspondentemente da calcita a depositar), é maior que a da gravidade. Crescem assim nas mais variadas direções afastando-se geralmente da verticalidade.

As helictites de calcita (mais comuns) têm sua superfície lisa e branca enquanto as de aragonita geralmente apresentam superfícies ásperas com cristais pontiagudos, dispostos radialmente, sendo via de regra transparentes.

Os “estilos” das helictites são inúmeros, no entanto, as formas mais comuns são as “spicular”, as “vermiformes”, as “espiraladas” e as “anelares”.

Flores de Caverna ou Antodites - Com este nome são reunidos 3 tipos distintos de espeleotemas: as flores de calcita, as de aragonita e as de gipsita.

Flores de Calcita - em alguns casos assemelham-se a conjuntos de helictites cujas bases divergem de um centro comum de irradiação. Noutros apresentam-se como um emaranhado de espeleotemas do mesmo tipo que alinham-se ao longo de fraturas da rocha nos tetos das cavernas. Neste caso, são costumeiramente chamadas de “spaghetti”.

Seus componentes, a exemplo das helictites, são geralmente brancos, opacos e de conformação retorcida. A deposição da calcita, porém, segundo se crê, não se dá na extremidade livre de cada componente mas sim na base de irradiação dos mesmos.

Apesar de também ocorrerem sobre outros espeleotemas, as flores de calcita são normalmente fixadas diretamente na rocha encaixante.

Os mais notáveis exemplos de flores de calcita e “spaghettis” no Brasil são encontrados na “capela sistina” e na “floricultura” da Caverna de Santana e em uma pequena sala na região da “Sala dos Gigantes Caídos”, na Caverna do Diabo, ambas em São Paulo. Ocorrem em quantidade e dimensão mais reduzidas em diversas cavernas do país.

Flores de Aragonita - Estes espeleotemas se incluem inquestionavelmente entre as mais espetaculares ornamentações de cavernas. Sua distribuição é restrita a poucos locais mas geralmente ocorrem em grupos.

Apresentam-se como conjunto de feixes de cristais alongados e pontiagudos que divergem de um centro pontual nas paredes e tetos da caverna ou de eixos de radiação quando ocorrem recobrimdo estalactites. Sua coloração vai do branco puro ao transparente e desenvolvem-se por exsudação (sem formação de gotas) sendo os novos cristais depositados no contato do feixe cristalino com a rocha. Não possuem condutos centrais como as helictites.

Cristais de aragonita deste tipo são comumente encontrados crescendo sobre espeleotemas de calcita. Da mesma forma, pequenos cristais de calcita formados sobre outros de aragonita, sugerem que soluções circulando pelos mesmos perderam a supersaturação (necessária para a precipitação da aragonita) e começaram a precipitar calcita.

Baseado nas observações anteriores e diversas outras pesquisas, White (1976) resume as condições para a formação de flores de aragonita da seguinte forma: é necessária a percolação lenta de soluções super mineralizadas e super saturadas em um ambiente úmido, confinado e sob condições climáticas constantes.

Tais condições são respeitadas em alguns dos principais ambientes onde ocorrem as flores de aragonita em nossas cavernas: “capela sistina”, “golpe final” e “jardim de Alá”, na caverna de Santana (Iporanga/São Paulo). Não parecem ser fundamentais, no entanto, para que existam flores de aragonita em profusão, pois na Caverna São Mateus, em Goiás, elas aparecem em locais onde as condições citadas não compõem em sua totalidade. O magnífico conjunto de flores deste tipo encontrados no “Salão do Sílex”, nesta caverna, é um dos melhores exemplos.

Flores de Gipsita - estes espeleotemas formados de sulfato de cálcio tem muito em comum com as flores de aragonita descritas acima. O processo químico de formação é diferente mas os mecanismos de crescimento são semelhantes. É simplesmente a diferença de hábito de cristalização entre a aragonita e a gipsita, a responsável pelos cristais finos e pontiagudos da primeira e os cristais curvos e retorcidos da segunda. Uma classificação mais precisa, segundo White (1976), provavelmente as agruparia como duas variedades do mesmo espeleotema.

As flores de gipsita apresentam-se como flores de cristais estriados e retorcidos, de coloração branca ou amarelada.

São relativamente frequentes nas cavernas brasileiras, preenchendo as juntas das rochas ou recobrimdo paredes em finas e cintilantes crostas cristalinas.

Suas dimensões são normalmente reduzidas ocorrendo excepcionalmente peças com até 5cm de comprimento. Belos exemplos destes são encontrados na Gruta do Córrego Grande. Gruta do Jeremias, Gruta Alambari de Baixo e Laboratório, todas em São Paulo. Existem igualmente diversas referências sobre estes espeleotemas em Grutas de Minas Gerais.

Cabelo de Anjo - A gipsita dá origem ainda a um dos mais raros e notáveis espeleotemas. Finíssimos cristais (ordem de micros de milímetros) de comprimentos variados criam, por vezes, um delicado emaranhado cristalino que dependura-se nos tetos das cavernas.

Esta estrutura de fios entrelaçados, cujo aspecto lembra teias irregulares ou por vezes delicadas mechas de cabelo branco e lustroso (de onde se originou seu nome), são extremamente frágeis e chegam a balançar sob a ação de leves brisas.

No Brasil, tais espeleotemas só foram observados na Caverna de Santana (Iporanga/São Paulo) e São Mateus (São Domingos/Goiás). Os da Caverna de Santana, infelizmente, foram depredados por pseudo-estudiosos num dos mais tristes exemplos de vandalismo e irresponsabilidade.

Agulhas - São magníficos espeleotemas, constituídos de aragonita em forma de cristais finos (1 a 2mm de diâmetro) e retilíneos de até 30cm de comprimento.



São transparentes e apresentam, por vezes, dobras forçando ângulo reto com o segmento anterior.

Crescem em paredes ornamentadas e sobre outros espeleotemas, sem orientação predominante, sendo até o momento indeterminada a sua gênese.

São extremamente raros, ocorrendo, no entanto, em profusão, no “Salão Taqueupa” da Caverna de Santana e especialmente no “salão Duca” da Gruta do Jeremias (Iporanga/São Paulo) onde, em espetaculares cristais, recobrem toda uma parede.

3. DEPÓSITOS DE ÁGUAS ESTAGNADAS

São os espeleotemas originados a partir da deposição de minerais nas partes submersas ou superficiais dos represamentos d'água existentes nos pisos das cavernas.

A água de tais piscinas pode ficar saturada de carbonato pela lenta liberação de CO₂ possibilitando a formação de alguns dos mais notáveis espeleotemas. Os mecanismos de deposição do carbonato descritos para o meio líquido são a floculação e a precipitação sendo a última, de longe, a predominante.

Os depósitos de águas estagnadas são tipicamente erráticos (sem orientação preferencial) e irregulares mostrando geralmente elementos com muitas faces cristalinas em projeção. Neste tipo de depósito predomina a calcita que comumente apresenta uma morfologia externa muito desenvolvida.

Entre os espeleotemas deste grupo salientam-se:

Geodos de Calcita - São os mais comuns depósitos de águas estagnadas em cavernas. A apresentam-se na forma de revestimentos cristalinos das superfícies submersas de poços e represas de travertino ou em reentrâncias ou concavidades das paredes. Dentre as variedades deste espeleotema se destacam os seguintes:

a) Dentes de Cão - São espeleotemas de calcita depositados na forma de cristais alongados, com hábito romboédrico ou escalenoédrico e comprimento que, em alguns casos, chega a atingir cerca de 15 cm.

Algumas grutas são, por vezes, total ou parcialmente inundadas por águas saturadas de carbonato. Desde que a área fique inundada por um

tempo relativamente grande e que a solução atinja um certo nível de saturação, pode ocorrer a deposição de cristais “dente de cão” em todas as superfícies internas.

Um extraordinário exemplo deste tipo de revestimento cristalino no piso, paredes e teto de uma caverna é o que ocorre na Gruta dos Cristais (Matosinhos/MG), transformada em um único e gigantesco geôdo de calcita.

A Gruta dos Cristais hoje, no entanto, é também um triste monumento à ignorância e à insensibilidade daqueles que, visando a comercialização de tais cristais, depredaram-na de forma brutal e irreversível.

b) Triângulos de Calcita - Nos depósitos de água estagnada é comum a mudança de hábito no crescimento dos cristais, em função de mudanças no ambiente químico ou físico onde ocorrem as deposições. Assim, cristais com hábito romboédrico podem, por exemplo, ter desenvolvimento escalenoédrico a partir de um certo estágio de desenvolvimento.

Da mesma forma, associado com variações do nível d'água, os cristais podem sofrer modificações no seu crescimento pela deposição diferencial em algumas de suas partes em prejuízo de outras. Um curioso exemplo deste tipo de depósito é o representado pelos “triângulos de calcita” que, por vezes, recobrem o fundo de piscinas rasas formando uma verdadeira malha de triângulos com arestas pronunciadas e interior côncavo.

Os melhores exemplos destes triângulos que temos em cavernas brasileiras são encontrados no “Salão de Taqueupa” da Caverna de Santana (Iporanga/São Paulo).

c) Jangadas - A precipitação e crescimento da calcita em águas estagnadas tende a ser mais rápida no nível da água por ser aí que ocorre a maior liberação do CO₂ da solução na atmosfera da caverna em toda sua área.

Algumas vezes, no entanto, pequenas crestas de calcita são encontradas boiando livremente na superfície da água. São estruturas planas, microcristalinas, de formato irregular, que chegam a atingir 25cm em seu maior comprimento e 20cm em sua maior largura. Tais espeleotemas são chamados “jangadas”.

Notáveis jangadas deste tipo são encontradas na região do “Salão Taqueupa”, na Caverna de Santana (Iporanga/São Paulo).

Estas placas, suportadas pela tensão superficial da água, se tocadas, perdem seu equilíbrio e afundam. Outras vezes, deslocando-se lentamente, vão ter às bordas da piscina e são cimentadas às mesmas.

Não existe ainda uma ideia clara sobre a formação de tais espeleotemas e as hipóteses existentes levam em conta a “floculação” (processo pelo qual se forma, por exemplo, a nata do leite) ou, preferencialmente, a precipitação da calcita em torno de partículas diversas que venham a cair nas piscinas e que, pelo seu pequeno peso, não se afundem nas mesmas.

Na segunda hipótese, a partir destes “grãos” iniciais que poderiam ser simples partículas de poeira, a calcita se cristalizaria em seu entorno e, com a continuidade do processo, a jangada teria sua área ampliada. São, no entanto, ainda apenas hipóteses a serem confirmadas ou não.

d) Vulcões - As piscinas de águas estagnadas também servem de berço para um tipo de espeleotema muito curioso e raro: os “vulcões”.

Tais espeleotemas, como indicam seu nome, têm a forma de um tronco de cone cuja extremidade superior e côncava, semelhante a uma pequena cratera.

São formados por gotejamento em represas com águas saturadas em carbonato de cálcio, crescendo verticalmente, como se fosse uma estalagmite, a partir do piso submerso. A gota caindo do teto, ao chocar-se contra a superfície da água, se subdivide e, pela liberação do CO₂, a calcita nela contida se precipita espalhando-se na forma de microcristais. Estes precipitados mergulhando vão depositar-se no fundo da piscina formando uma película circular de pequena espessura.

Outras gotas caem e a deposição da calcita vai superpondo novas camadas àquela original. O diâmetro destas placas circulares vai, no entanto, diminuindo, dada a diminuição entre o nível da água e a base de acumulação que vai elevando-se lentamente pela constante deposição.

No centro do círculo, porém, dada a turbulência ocasionada pelo impacto da gota, a calcita precipitada não se acumula. As camadas de deposição vão assim modificando-se de círculos para anéis laminares, tendendo paulatinamente à circunferências.

Várias gotas esparsas vão dar origem a vários “vulcões” vizinhos que, se muito próximos, têm suas bases interligadas.

A altura destes espeleotemas é limitada pelo nível d'água e, por esta razão, seus topos são geralmente nivelados. Tal nivelamento é igualmente notado nas ornamentações” das bordas das piscinas onde cristais “dente de cão” formam crostas horizontais alinhadas com os topos dos vulcões. Variações de altura nestes espeleotemas indicam variações do nível d'água nas piscinas.

A ocorrência dos vulcões até o momento só foi confirmada em 4 cavernas brasileiras: a de Santana, a Gruta do Gambá e o Abismo de Furnas, todas no município de Iporanga (São Paulo), e na Caverna São Mateus, em São Domingos, (Goiás) onde, como na Caverna de Santana, são encontradas em 3 locais distintos do seu interior.

4. DEPÓSITOS DE ORIGEM MISTA - Vários espeleotemas têm sua composição química ou aspecto final relacionados à atuação simultânea ou sequencial de vários mecanismos de formação. Criam-se, então, espeleotemas “híbridos” que podem ser incluídos em 2 categorias gerais: as formas complexas e as formas de decomposição.

Não pretendemos nesta oportunidade apresentar estudos detalhados sobre tais espeleotemas mas apenas descrever alguns dos mais frequentes e/ou mais interessantes.

Nas formas complexas se incluem basicamente os formados pela superposição e integração de espeleotemas diversos, de cuja combinação originam-se peças com as mais diversas formas e estilos. Assim, são comuns blocos de ornamentação onde estalactites, cortinas e helictites se agrupam e interpenetram. Da mesma forma, ocorrem estalagmites recobertas e associadas com “corais”, represas de travertino e tufos de “couve-flor”.

Neste grupo se incluem igualmente os espeleotemas formados a partir da cimentação e revestimento de fragmentos de espeleotemas quebrados que jazem nos solos das grutas. Formas originais e bizarras surgem desta maneira.

Um exemplo interessante é o de algumas estalagmites encontradas na Caverna de São Mateus, em Goiás, que, se partidas, deixam a mostra um conduto central como os de estalactites. Tais estalagmites se originaram a partir do revestimento de fragmentos de “canudos de refresco” que, pelo

excesso de peso, partiram-se e enterraram-se verticalmente no piso argiloso da gruta. O gotejamento posterior revestiu-os, aumentando-lhes o diâmetro e usando-os como suporte para verdadeiros estalagmites que passaram a crescer a partir de seu topo.

Numa outra forma complexa a superposição de cristais se dá segundo leis geométricas definidas e cria espeleotemas de rara beleza conhecidos como maclas.

Certas estalactites localizadas a pequenas alturas sobre piscinas de águas ricas em carbonato, pelo seu crescimento ou pelo aumento do nível da água, tem, às vezes, suas extremidades mergulhadas nas mesmas.

Esta extremidade submersa passa então a funcionar como “gérmen” para a cristalização do carbonato dissolvido, o que ocorre geralmente na forma de cristais “dente de cão”. Tal deposição, se ocorre ao longo de um razoável segmento da estalactite, confere a mesma o aspecto de uma espiga de milho onde os grãos são representados por grandes e pontiagudos cristais de calcita.

Quando, no entanto, a deposição se dá apenas na extremidade inferior da estalactite, o depósito toma a forma esférica ou semiesférica onde os cristais se dispõem radialmente. Estes espeleotemas, pela sua forma peculiar, são conhecidos como clavas.

Outra ornamentação interessante é a estalactite esférica. Em locais onde ocorrem grandes inundações é comum que as estalactites atingidas pelas mesmas sejam recobertas por camadas de argila razoavelmente espessas. Com o abaixamento do nível das águas, estas estalactites recobertas de argila encontram dificuldade em desenvolver-se dada a obstrução do seu canal central. A água represada neste canal é então forçada a escoar pelo contato da estalactite com o teto e escorre pela superfície externa da camada de argila dando origem a uma capa calcítica de consistência porosa e formato relativamente esférico. Na extremidade inferior dessa capa envoltória é comum originar-se uma nova estalactite tubular e, pela aparência final, é conhecida popularmente como “mama de vaca”. Esta teoria não explica, no entanto, todos os casos.

Também a modificação da composição química do mineral depositado (aragonita para calcita, por exemplo) ou a superposição de minerais distintos sequencialmente, podem originar espeleotemas de forma e estilos complexos. Bons exemplos deste caso são algumas helictites de

calcita do “Salão do Nirvana”, na Caverna de Santana (São Paulo), que apresentam florações de aragonita em suas extremidades.

Um tipo semelhante de espeleotema envolvendo, no entanto, diferentes minerais, é encontrado em diversas cavernas brasileiras especialmente nas do Estado de Goiás. São helictites ou flores de aragonita cujas extremidades livres são envolvidas por pequenos tufo branco de consistência porosa. Tais espeleotemas são conhecidos por cotonetes.

A formação destes cotonetes não foi ainda devidamente estudada. Existem hipóteses relacionadas à deposição de sais de magnésio e ao “leite de lua”.

O leite de lua é uma das mais interessantes “formas de decomposição” encontradas nas cavernas. Trata-se de um depósito de consistência pastosa ou porosa, semelhante a uma argila molhada de coloração branca.

Pode ser composto de diversos minerais carbonáticos como a calcita, a aragonita, a monohidrocalcita, a magnesita, a hidromagnesita, a nesquehonita, a huntita, etc. É conhecido desde a idade média e sua ocorrência, especialmente na Europa, já foi descrita inúmeras vezes.

Segundo Williams (1959) é provável que o “leite de lua” tenha origem na ação de microrganismos que são encontrados neste tipo de depósito. Estes microrganismos (actinomicetos, algas e bactérias como as “Macromonas bipunctata”) são identificados como responsáveis pela “quebra” da calcita de onde se originam os componentes do “leite de lua”. O mecanismo pelo qual tais organismos decompõem a calcita e a redepositam como leite de lua ainda não foi determinado.

No Brasil, não existe nenhuma ocorrência desse tipo de depósito que tenha sido adequadamente estudada. Sua presença, no entanto, nos parece confirmada em diversas cavernas do Vale do Ribeira, em São Paulo (Santana, Água Suja, etc.), em Minas Gerais e no Estado de Goiás.

O salitre, no entanto, é a mais conhecida forma de decomposição encontrada em cavernas. É um mineral que há mais de 4.000 anos vem sendo utilizado pelo homem como atestam alguns documentos (tábuas) sumérios de 2.100 A.C.. Tais documentos, assim como outros também antigos, contam a história da produção, descoberta e usos

deste nitrato, sendo os mais comuns os de seu emprego como diuréticos.

Seu uso mais importante, porém, foi o de componente no fabrico da pólvora nos tempos coloniais. A presença de salitre em cavernas brasileiras já é noticiada por Gabriel Soares, em 1587, no "Tratado Descritivo do Brasil". E, em 1757, a exploração das "nitreiras" das Grutas do Vale do Rio das Velhas, São Francisco e das Contas ganha maior importância com o estabelecimento de várias usinas para extração e refino do salitre naquela região. Durante toda a época do Império, a produção de pólvora no país ainda baseou-se nestas nitreiras de Minas Gerais e Bahia, sendo óbvia sua importância na descoberta das cavernas daquela área.

O salitre é originado a partir da ação de bactérias (Nitrobacter ou Nitrosomonas) em depósitos de cavernas estando geralmente associadas ao guano de morcego.

O mineral encontrado nas cavernas é a nitrocalcita $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (nitrato de cálcio) que, para ser usado no fabrico da pólvora, deve ser transformado em nitrato de potássio KNO_3 ("niter"). O nitrato de potássio natural existe em cavernas mas é extremamente raro, sendo identificado apenas em cavernas da região árida da Austrália Central (Mamson, 1930).

OUTROS ESPELEOTEMAS

Existem ainda inúmeros espeleotemas cuja gênese e formação não foram ainda devidamente explicadas o que dificulta sua inclusão em quaisquer das categorias anteriores.

Apenas a título de exemplificação e no intuito de alertar os espeleólogos para sua existência, citamos um curioso espeleotema que pudemos observar nas entradas das cavernas Casa de Pedra, Morro Velho e Água Suja, todas em Iporanga (São Paulo). Este espeleotema, que aparece na forma de conjuntos de pequenos cones alongados (como espinhos), crescendo sobre rochas e paredes nas entradas de algumas cavernas, tem uma característica muito peculiar: só ocorrem nas zonas iluminadas da caverna e sua orientação sempre converge para um foco que imaginariamente se localizaria no ponto central da entrada. Poderíamos dizer que apresenta um fototropismo positivo e, a princípio, acreditamos ter sua origem associada a fatores climáticos e biológicos.

Este é apenas um exemplo das surpresas e curiosidades que as cavernas, de forma contínua, podem ainda nos oferecer.

ESPELEOTEMAS: A DEPOSIÇÃO MINERAL EM CAVERNAS

No interior das cavernas encontram-se depósitos de sedimentos acumulados nos seus pisos e reentrâncias. Encontram-se também deposições minerais que recobrem e se desenvolvem a partir dos tetos e paredes da cavidade. Considerando-se suas origens e processo de deposição tais sedimentos são divididos em dois grandes grupos:

a) Os sedimentos clásticos - constituídos pelos blocos desmoronados e pelo material detrítico de origem geralmente superficial transportado para a caverna por correntes d'água, vento ou pela gravidade.

São também frequentes frações siltico-argilosas ou até arenosas provenientes da alteração e posterior erosão da rocha encaixante da caverna.

b) Os espeleotemas - do grego spelaion (caverna) e thema (depósito) que se definem como deposições minerais em caverna formados através de processos químicos de dissolução e precipitação ou de dispersão coloidal e floculação.

São estes espeleotemas que com suas formas bizarras e peculiares e suas dimensões variando entre o delicado e o gigantesco, mais fascinam os visitantes e intrigam os estudiosos deste estranho mundo.

Além das tradicionais estalactites e estalagmites, centenas de outros espeleotemas recobrem os tetos, paredes e pisos das cavernas que, pelas suas condições peculiares, se apresentam como excelentes ambientes para a lenta deposição de minerais.

O número de minerais que ocorrem em cavernas segundo Moore (1970) e Broughton (1972) atinge a casa dos 80 dentre os quais aproximadamente 20 são comumente encontrados neste ambiente. No Brasil, até o momento, poucos minerais em soluções de cavernas foram descritos. Entre eles se des tacam:

Ω calcita - carbono de cálcio romboédrico

Ω aragonita - carbonato de cálcio ortorrômbico

Ω gipsita - sulfato de cálcio monoclinico

Ω goehtita - óxido de ferro hidratado romboédrico

Ω malaquita - carbonato de cobre hidratado monoclinico

Ω calcedônia - sílica amorfa ou microcristalino

Apesar da ocorrência destes e outros minerais, a calcita, aragonita e a gipsita, provavelmente nesta ordem são os constituintes básicos da quase totalidade das ornamentações que recobrem e fantasiam o interior de nossas cavernas.

A calcita é um mineral branco ou transparente, quando puro, que cristaliza no sistema romboédrico (cristais com a forma semelhante a um paralelepípedo meio achatado) sendo responsável por talvez mais 90% dos depósitos de caverna.

A aragonita que forma alguns dos mais belos e delicados espeleotemas, tem a mesma forma química da calcita (CaCO_3) mas diferente hábito de cristalização (sistema orthorrômbico) apresentando-se como um poliformo da primeira. É muito mais solúvel que a calcita e, portanto, mais difícil de se precipitar nas cavernas.

Para que haja a precipitação da aragonita é necessário que algum mecanismo impeça a deposição da calcita até que o nível de super saturação da solução aquosa que chega à caverna seja atingido. Os principais inibidores da precipitação da calcita nesta soluções são os íon magnésio (Mg^{++}) íon estrôncio (Sr^{++}) e, algumas vezes, chumbo (Pb^{++}) que por vezes são nelas encontrados.

A gipsita ou sulfato de cálcio (CaSO_4) por sua vez, apesar de bastante comum em nossas cavernas, dá origem a poucos diversificados tipos de espeleotemas, apresentando-se normalmente como “flores” de “pétalas” alongadas e retorcidas ou na forma de finíssimos e transparentes cristais.

Pela presença maciça deste mineral de coloração branca, esta é a cor predominante nas ornamentações de caverna. No entanto, devido a presença de várias impurezas e outros minerais nas soluções aquosas que lhes dão origem, várias delas se mostram com tonalidades diversas.

Assim, a presença de cobre dá ao espeleotema uma coloração azulada como se notam em estalactites de algumas cavernas de São Paulo e Mato Grosso. As vezes, este mineral é o principal componente do espeleotema como no caso das espetaculares estalactites azuis de malaquita encontradas na mina de cobre de Santa Blandina, em Itapeva (São Paulo).

Da mesma forma, o óxido de ferro dá à calcita uma coloração entre o amarelo e o marrom e o óxido de manganês dá origem a um revestimento de coloração negra brilhante, ambas muito comumente encontradas em nossas cavernas.

Estes minerais atingem as cavernas trazidos por soluções aquosas que, aciduladas pelo anidrido carbônico que coleta na atmosfera e no solo, atravessa e dissolve a rocha envoltória, normalmente calcário, como já visto.

Ao atingir as extremidades de escape de seu conduto, a solução torna-se super saturada de CaCO_3 pela liberação do anidrido carbônico e o carbonato original volta a precipitar-se num processo inverso daquele que o gerou. Tem-se assim duas fases definidas na formação dos espeleotemas: a dissolução e a deposição (precipitação ou, em alguns casos, a floculação).

Vários fatores condicionam o desenvolvimento da primeira fase. Dentre eles destacam-se:

- Ω a espessura da capa envoltória de calcário
- Ω o grau de pureza da rocha
- Ω seu fraturamento
- Ω a solubilidade da mesma
- Ω a composição química do ar
- Ω a composição química do solo que recobre a rocha, assim como sua cobertura vegetal.

Ainda há outros fatores climáticos como a temperatura média e o índice pluviométrico regional são fundamentais no desenvolvimento da fase de dissolução.

As peculiaridades destes fatores em meio tropical, por exemplo, faz com que, tanto a dissolução como a deposição em cavernas dessas regiões, sejam muito maiores e mais rápidas que nas regiões de clima temperado e frio.

A deposição desses minerais em cavernas, por sua vez, se dá através de vários mecanismos como o gotejamento, os escorrimentos, a evaporação, a precipitação em águas estagnadas, etc. e vários fatores condicionam a conformação, as dimensões e a intensidade desses depósitos.

Entre eles destacam-se o nível de saturação, a velocidade de escoamento e a vazão da solução aquosa, a temperatura, a umidade e a circulação do ar na caverna, assim como as características morfológicas da mesma.



De forma geral, podemos dizer que os mecanismos de deposição definem os tipos de espeleotemas e os demais fatores condicionam seus estilos, suas dimensões, sua coloração, etc. que estão também intimamente relacionados com o mineral depositado.

Baseados nestes diversos condicionantes se estabelece uma classificação para os vários espeleotemas.