

UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRE TÉCNICAS DE COLETA E AMOSTRAGEM DE MICROMETEORITOS

 <https://doi.org/10.56238/sevened2025.018.040>

Daniel Matias Rosales Mendez
dmmr2

Penelope Wozniakiewicz
Supervisor

RESUMO

Micrometeoritos (MMs) são partículas extraterrestres que são arrastadas para o sol por meio de arrasto de luz PR e são capturadas pela Terra no processo, o influxo estimado dessas partículas de poeira interplanetária é estimado em cerca de trinta mil toneladas por ano. A coleta deles ocorre em locais diferentes, cada um exigindo uma metodologia diferente e específica que pode se tornar muito cara e logisticamente desafiadora. Assim, surge a necessidade de encontrar métodos alternativos de coleta de micrometeoritos que acomodem esses altos custos e logística complicada de forma eficiente. A coleta de MM's em áreas urbanas só recentemente está se tornando popular entre a comunidade científica e, embora apresente alguns vieses, sua metodologia fácil permite que ela seja adaptada de forma a maximizar muito a eficiência das coletas feitas em áreas semi-urbanas em relação a outros métodos de coleta.

Palavras-chave: Coleção de micrometeoritos. Técnicas de amostragem. Partículas Extraterrestres.

1 INTRODUÇÃO

Estudar micrometeoritos significa uma tentativa de entender a origem e a formação dos planetas e do sistema solar primitivo e como seus corpos parentais evoluíram. Coleções com um grande número de micrometeoritos podem conter amostras de asteróides, da lua, de Marte e de corpos cometários, e é improvável que esses materiais sejam encontrados em coleções de meteoritos (BROWNLEE et al., 1993). A estimativa do número de partículas extraterrestres que entram na atmosfera terrestre é de cerca de 30.000 toneladas por ano (LOVE e BROWNLEE, 1993). Os meteoritos são uma importante fonte de conhecimento e contato com material formado a partir do sistema solar primitivo, mais freqüentemente a queda desse material é na forma de partículas microscópicas de poeira (MM's) e tons dessas partículas são depositados na Terra todos os dias (BROWNLEE, 1981). No entanto, determinar o tipo, proporção e quantidade desse material que sobreviveu à desaceleração atmosférica requer um grande depósito desse material, imparcial e bem preservado, considerando o tempo de acumulação (TAYLOR et al., 2000). Os micrometeoritos podem fornecer evidências de processos que ocorreram antes da formação do Sistema Solar (ROCHETTE, *et al* 2008).

Muitos astrofísicos modernos estão preocupados com a frequência e a quantidade dos impactos causados por essas partículas na superfície de satélites artificiais, que podem, a longo prazo, causar interferências ou mesmo danos graves aos sistemas operacionais a bordo. A Figura 1 mostra a imagem da extremidade traseira do radiador da Wide Field Planetary Camera II (WFPC2), instalada no Telescópio Hubble durante um período de 15 anos de exposição. A análise dessas marcas de impacto sugere que partículas menores que um milímetro de tamanho são capazes de produzir orifícios com até 30 [mm] de diâmetro (**Smithsonian Museu Nacional do Ar e do Espaço**).

FIGURA 1: Extremidade traseira do radiador a bordo da Wide Field Planetary Camera II (WFPC2), instalada no Telescópio Hubble, por Eric Long, Museu Nacional do Ar e do Espaço.



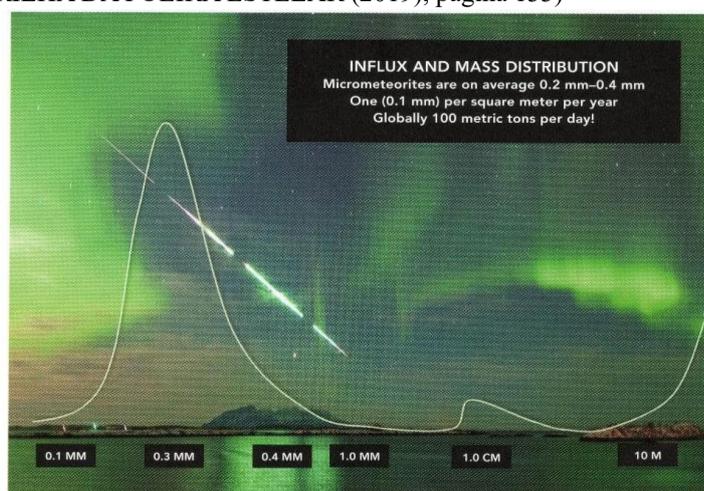
Fonte: Museu Nacional do Ar e do Espaço Smithsonian.

Essas partículas extraterrestres são formadas quando um pequeno meteoróide encontra a atmosfera da Terra. As altas temperaturas causadas pelo calor de fricção com a atmosfera derretem o

meteoróide, dando origem a um flash de luz brilhante visto como um meteoro, sua etimologia da palavra "metéoros" referenciando "algo que vem do céu". Essas partículas surgem da erosão de cometas e asteroides que derretem e alteram sua forma e composição química, com registros de coleta que se estendem por décadas em diferentes ambientes (BLAKE, M., *et al*, 2018). As partículas menores de poeira conseguem entrar na atmosfera sem aquecimento significativo, diferente da maioria das partículas que derretem ao longo de sua desaceleração atmosférica em nosso planeta (LOVE E BROWNLEE, 1991). As novas formas e texturas adquiridas pelos micrometeoritos estão relacionadas às velocidades que podem chegar a até 72 [km/s], ao ângulo de entrada e curvatura de sua trajetória e podem ser confundidas com partículas de origem antrópica. Na faixa inferior das temperaturas essas partículas podem atingir, em torno de 1350°C, os micrometeoritos classificados como não derretidos, e com as forças de atrito em jogo, a temperatura pode aumentar significativamente formando os tipos Escoriácea, Porfírica, Olivinas Barradas. Nas temperaturas mais extremas formam-se os micrometeoritos vítreos, em torno de 2000°C (GENGE, 2020).

Os meteoritos maiores têm uma frequência de entrada atmosférica relativamente baixa, dificultando os estudos de seu fluxo de entrada. Nesse sentido, os micrometeoritos tornam-se um modelo ideal para medir o referido fluxo e suas variações pela grande quantidade dessas partículas que precipitam na superfície de Earh (PARNELL, J., *et al*. 2016). De acordo com TAYLOR *et al.*, 2000 as chances de encontrar micrometeoritos são muito mais expressivas do que as chances de encontrar meteoritos maiores devido à diferença em seu número de incidências. Os micrometeoritos compõem 95% do fluxo de matéria extraterrestre na Terra (HUGHES, 1978), e são acumulados em lugares remotos do nosso planeta desde sua formação.

FIGURA 2. Exibe a propagação do influxo de material extraterrestre da Terra ao longo do tamanho dos corpos do material - (Jon Larsen. NA TRILHA DA POEIRA ESTELAR (2019), página 133)



Partículas cósmicas semelhantes a esférulas são corpos extraterrestres microscópicos que estavam presentes como estrutura de poeira no espaço interplanetário e não faziam parte de meteoróides maiores (GENGE *et al.*, 2008). Os micrometeoritos tradicionais, por outro lado, faziam

parte de corpos cósmicos maiores no Espaço (BROWNLEE, 1985). Enquanto isso, os meteoritos são estimados em ~50 [toneladas/ano] (ZOLENSKY *et al.*, 2006), com estimativas em torno de ~30.000 [toneladas/ano] o fluxo de micrometeoritos LOVE & BROWNLEE, 1993; PEUCKER-EHRENBRINK & RAVIZZA, 2000), carregando uma quantidade expressiva de material extraterrestre que precipita sobre a Terra está em sua forma microscópica. Especula-se que os micrometeoritos representam amostras de uma variedade maior de matéria extraterrestre em comparação com os meteoritos convencionais (BROWNLEE, 1985).

Freqüentemente, apenas partes milimétricas de meteoritos que atingem o Earh, devido aos processos de degradação que ocorrem em sua entrada atmosférica, sendo então chamados de micrometeoritos. Geralmente medem menos de 1,0 [mm] e representam a fonte primária de material extraterrestre acumulado na Terra (BROWNLEE, 1981; ENGRAND & MORETT, 1998; ROCHETTA, 2008; TAYLOR *et al.*, 2000; VENENO ET AL., 2004).

Todos os corpos sólidos do Sistema Solar podem ejetar partículas para o meio interplanetário, incluindo planetas como a Terra, que emite material durante eventos de impacto. No entanto, as principais fontes de poeira cósmica no Sistema Solar são asteróides e cometas. Acredita-se que ambos façam parte da matéria-prima planetária e foram preservados desde sua formação (BROWNLEE, 1981). Os asteróides individuais MM podem nos fornecer amostras dos componentes químicos de seus corpos parentais (Genge *et al.* 1997a; Kurat *et al.* 1994), porém devido ao seu tamanho microscópico é improvável que suas propriedades mineralógicas e químicas sejam representativas de seus corpos parentais em escalas maiores, (Genge *et al.* 2008), tornando-se necessária a coleta e análise de um grande número de espécimes, caracterizando assim um desafio difícil de trabalhar neste campo.

Tem sido feita uma quantidade considerável de estudos modernos com micrometeoritos, principalmente em terrenos cobertos de gelo e neve, com a coleta de amostras dessas partículas, cálculos de rendimento e estimativas de fluxo, como os estudos de LOVE & BROWNLEE (1993); TAYLOR *et al.* (2000) e DUPRAT *et al.* (2007). No entanto, uma quantidade muito pequena de estudos dos registros geológicos também foi encontrada TAYLOR & BROWNLEE (1991); DAVIDSON *et al.* (2007); ONOUE *et al.* (2011); VOLDMAN *et al.* (2013). Dredge *et al.* (2010) e Tomkins *et al.* (2016) afirmam que essas partículas preservadas em sedimentos podem fornecer um registro de eventos que aconteceram muito além do nosso planeta em escala geológica.

Alguns autores associam concentrações elevadas de micrometeoritos ao impacto de meteoritos importantes, como os associados à fronteira Triássico-Jurássico (MIONO *et al.* 1993; CHAPMAN & LAURETTA 2004) e com a fronteira Cretáceo-Paleogénico (GRACHEV *et al.* 2008).

Micrometeoritos foram coletados em uma variedade de ambientes terrestres (TAYLOR & BROWNLEE, 1991), bem como no espaço (BROWNLEE *et al.*, 1977), e variam em tamanho de

alguns microns de poeira interplanetária não derretida [RIETMEIJER, 1998; BROWNLEE, 1985] até esférulas cósmicas de até 2,0 [mm] de diâmetro [ROCHETTE *et al.*, 2008; VAN GINNEKEN *et al.*, 2012].

GENGE *et al* (2017) classificam os meteoritos em duas categorias principais com base em sua composição química: Meteoritos Rochosos e Meteoritos Metálicos. Os meteoritos que assimilam material rochoso são, em sua maioria, feitos de cristais inorgânicos, enquanto os que assimilam material metálico são, em sua maioria, compostos por uma liga Fe – Ni. Normalmente, a formação de cristais inorgânicos e a ligação metálica resistem às altas temperaturas.

Desses micrometeoritos, aqueles que são encontrados em maiores quantidades, são classificados como esférulas cósmicas: São gotículas completamente derretidas e forjadas com textura de têmpera. Por serem relativamente fáceis de serem distinguidas, essas partículas podem ser vistas como um material de estudo útil para a pesquisa do fluxo total de poeira cósmica (MAURETTE *et al.*, 1991).

2 OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo fazer uma breve síntese e uma revisão da literatura sobre o conhecimento relacionado às técnicas de coleta e estudo de micrometeoritos, contribuindo para a divulgação desse horizonte de pesquisa moderna, enfatizando a importância de tal e conseqüentemente propor uma metodologia para a coleta de novos micrometeoritos construída em torno de conceitos e características da metodologia aqui apresentada.

3 METODOLOGIA

Geralmente, um método é uma maneira de atingir um objetivo específico. Esta é uma forma de cognição usada para pensar sobre um objeto de estudo. O método pode seguir dois caminhos diferentes, um deles é o termo pesquisa, que significa uma orientação geral (método dialético) ou mesmo uma técnica de pesquisa específica (método indutivo-dedutivo). O outro caminho que pode ser seguido é o método de pesquisa que é utilizado para demonstrar as diferentes maneiras pelas quais o sujeito da pesquisa pode interagir com o estudo de caso (ABBAGNAMO, 1963, apud MOURA, 2010, apud JIMÉNEZ; JACINTO, 2017).

Considerando Polak e Diniz (2011), o objeto de pesquisa do presente estudo, bem como em sua natureza, pode ser classificado como aplicado, pois visa a aplicabilidade imediata do conhecimento produzido. No que diz respeito aos seus objetivos, foi inserida uma proposta descritiva que visa a identificação e catalogação sistemática de um ou mais fenômenos ou o fornecimento de informações sobre um tema. Quanto aos procedimentos, pode-se caracterizar como pesquisa bibliográfica e documental.

De acordo com VERGARA (2011), a pesquisa bibliográfica tem origem na análise de dados secundários contidos em livros, artigos, teses ou qualquer outro meio, sendo este eletrônico ou físico, cabendo ao pesquisador interpretar os aportes teóricos já existentes.

Inicialmente foi feito um levantamento bibliográfico que compreende pesquisas em portais de busca eletrônica e posteriormente foram consultadas publicações na forma de livros e artigos científicos sobre o tema.

O tipo de estudo realizado neste projeto foi o de pesquisa bibliográfica, que segundo MORESI (2003) é um estudo sistemático desenvolvido com base no material publicado em livros, revistas, artigos, portais eletrônicos e em outros locais acessíveis ao público em geral. Fornece um instrumento para qualquer tipo de pesquisa. A pesquisa bibliográfica apresenta-se como uma etapa fundamental na estruturação de qualquer tipo de pesquisa científica, e é o que molda todo o projeto restante, pois a pesquisa será feita de acordo com o exposto na revisão de literatura (AMARAL, 2007).

4 METODOLOGIA DE ESTUDOS COM MICROMETEORITOS

De acordo com BROWNLEE, D. E. (1985) as primeiras pesquisas tinham os sedimentos marinhos como a principal reserva dessas partículas, mas hoje os micrometeoritos são coletados principalmente da zona de ablação das camadas de gelo da Groenlândia (MAURETTE et al., 1987) e no gelo antártico (MAURETTE, *et al.*, 1987, TAYLOR, *et al* 1998 e HARVEY, *et al* 1991).

A coleta de micrometeoritos nos tempos modernos tem recebido muita atenção da comunidade acadêmica, devido aos avanços tecnológicos capazes de fazer análises mais sofisticadas, além das pessoas que são atraídas de forma autônoma por essas fantásticas partículas extraterrestres, pesquisas feitas de forma autônoma e potencialmente podem se tornar científicas e pertencer aos grupos de pesquisa.

Os custos logísticos de uma expedição para a coleta de micrometeoritos são muito altos, e por isso, ela precisa ser minuciosamente detalhada e otimizada da melhor forma possível, a fim de ser assertiva e conseguir obter amostras significativas para estudo. Nos últimos anos, pesquisadores têm feito amostragens em áreas urbanas e/ou próximas a elas, atividade que inicialmente causou alguma controvérsia em relação à origem dessas partículas e ao elevado número de identificações falsopositivas de micrometeoritos.

Após a amostra coletada e as partículas isoladas, são identificadas e agrupadas quanto à sua morfologia. E outro custo elevado é a confirmação da origem dessas partículas, feita através da imagem de micrósporos eletrônicos de retrodifusão em preto e branco (BSE); Imagem eletrônica secundária (SEI); mapeamento químico através de espectrometria de massas por difração de raios X exibindo concentrações de Magnésio (Mg), Oxigênio (O) e Silício (Si).

4.1 A CLASSIFICAÇÃO DOS MICROMETEORITOS

O sistema de classificação adotado na pesquisa atual é baseado nas observações combinadas de milhares de partículas recuperadas no gelo antártico nas áreas próximas de Cap Prudhomme (MAURETTE *et al*, 1991) e de áreas próximas ao Poço de Água do Pólo Sul (TAYLOR *et al*, 1998). A descrição das técnicas utilizadas para selecionar, preparar e analisar esses materiais é apresentada em (ENGRAND *et al*, (1998a), GENTE *et al*, (1997a) e TAYLOR *et al*, (2000)).

Diferentes autores classificam os micrometeoritos sob diferentes aspectos, de acordo com Genge *et al*, (2008), os micrometeoritos são divididos principalmente em três grupos: micrometeoritos derretidos, micrometeoritos parcialmente derretidos e micrometeoritos não derretidos. Com a finalidade de um esquema de classificação de micrometeoritos com maior precisão, faz-se necessária uma divisão que inclua análises ópticas e químicas dessas partículas.

Tabela 1. Uma tabela mostrando os esquemas para a classificação de micrometeoritos sugeridos por M. J. Genge e co-autores - A classificação de micrometeoritos Genge *et al*. (2008)

Table 1. An outline of the classification of micrometeorites.					
Groups	Class	Type	Subtype	Description	
Melted MMs	Cosmic spherules (CSs)	S	CAT	Spherules with Mg/Si > 1.7 that are enriched in Ca, Ti, and Al. They have barred olivine textures.	
		S	Glass	Spherules consisting almost entirely of glass.	
		S	Cryptocrystalline	Spherules dominated by submicron crystallites and magnetite. Some include multiple domains.	
		S	Barred olivine (BO)	Spherules dominated by parallel growth olivine within glass.	
		S	Porphyritic olivine (Po)	Spherules dominated by equant and skeletal olivine within glass. Relict-bearing varieties contain unmelting minerals.	
		S	Coarse-grained	These spherules contain >50% volume relict minerals.	
		G		Spherules are dominated by magnetite dendrites within silicate glass.	
Partially melted MMs	Scoriaceous MMs (ScMMs)	-	-	Spherules dominated by magnetite, wüstite. Vesicular particles dominated by a mesostasis of fayalitic olivine microphenocrysts within glass. ScMMs often contain relict minerals and relict matrix areas.	
Unmelted MMs	Fine-grained MMs (FgMMs)	C1		Compact, chemically homogeneous FgMMs. Often contain framboidal magnetite.	
		C2		Compact, chemically heterogeneous fine-grained MMs. Often contain isolated silicates and/or tochilinite.	
		C3		Highly porous FgMMs. Often contain isolated silicates and framboidal magnetite.	
	Coarse-grained MMs (CgMMs)	Chondritic CgMMs	Porphyritic olivine and/or pyroxene		Igneous MMs dominated by pyroxene and/or pyroxene phenocrysts within glass.
			Granular olivine and/or pyroxene		Igneous MMs dominated by pyroxene and/or olivine without significant glass.
			Barred olivine		Igneous MMs dominated by parallel growth olivine within glass.
			Radiate pyroxene		Igneous MMs dominated by radiating pyroxene dendrites within glass.
			Type I/type II		Type I CgMMs are reduced particles containing Fs and/or Fa < 10 mol%. Type II CgMMs are oxidized particles with Fs and/or Fa > 10 mol%.
	Refractory MMs	Achondritic CgMMs	-		Differentiated igneous CgMMs.
			Porous		Porous particles dominated by refractory minerals.
Compact				Compact particles dominated by refractory minerals.	
		Hydrated		Particles dominated by refractory minerals surrounded by Fe-rich phyllosilicates or their dehydroxy-lates.	
Ultracarbonaceous MMs				Particles dominated by carbonaceous materials with embedded	

A proporção de micrometeoritos derretidos, parcialmente derretidos e não derretidos não é bem conhecida, mas varia com o tamanho das partículas (MAURETTE *et al*, 1991; TAYLOR *et al*, 2000). Para tamanhos >100 [µm], os MMs derretidos representam até 70-90% das partículas (Maurette *et al*. 1991; Taylor *et al*. 2000), para aqueles MMs que têm tamanho em torno de 50-100 [µm] derretidos e parcialmente derretidos compõem cerca de ~ 50% das partículas (Genge *et al*. 1997a), embora uma proporção de micrometeoritos parcialmente derretidos para os não derretidos seja de cerca de 1 é encontrado nesta faixa de tamanho usando uma classificação diferente (Engrand

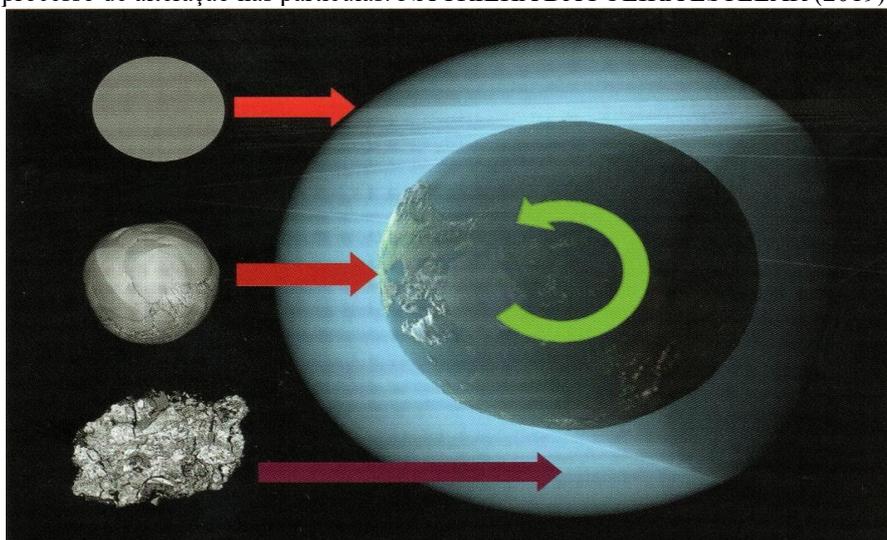
e Maurette 1998), e para aqueles MMS com tamanho de 25-50 [μm], derretidos e parcialmente derretidos compõem cerca de 22% das partículas encontradas (Gounelle et al. 2005b). Destaca-se que as chances devido ao aquecimento atmosférico são em grande parte graduais e, portanto, nem sempre é possível atribuir micrometeoritos a um grupo discreto. Isso resultou em diferenças na forma como os micrometeoritos são classificados.

4.2 ENTRADA ATMOSFÉRICA

O aquecimento das partículas em suas respectivas entradas atmosféricas tem um papel crucial em como elas se encaixam no esquema de classificação proposto.

Um micrometeorito pode entrar na atmosfera da Terra com velocidade muito alta, atingindo velocidades até 50 vezes mais rápidas que uma bala de rifle. Devido ao fato de que a Terra está constantemente girando em torno de seu próprio eixo, dependendo do ângulo de entrada do micrometeorito, diferentes quantidades de aquecimento por fricção podem ser encontradas por essas partículas, causando diferenças drásticas nas temperaturas de pico, que conseqüentemente resultam em diferentes processos de alteração que podem ocorrer no MMS, diferenciando-os textural e morfológicamente entre eles, estabelecimento de critérios para sua classificação.

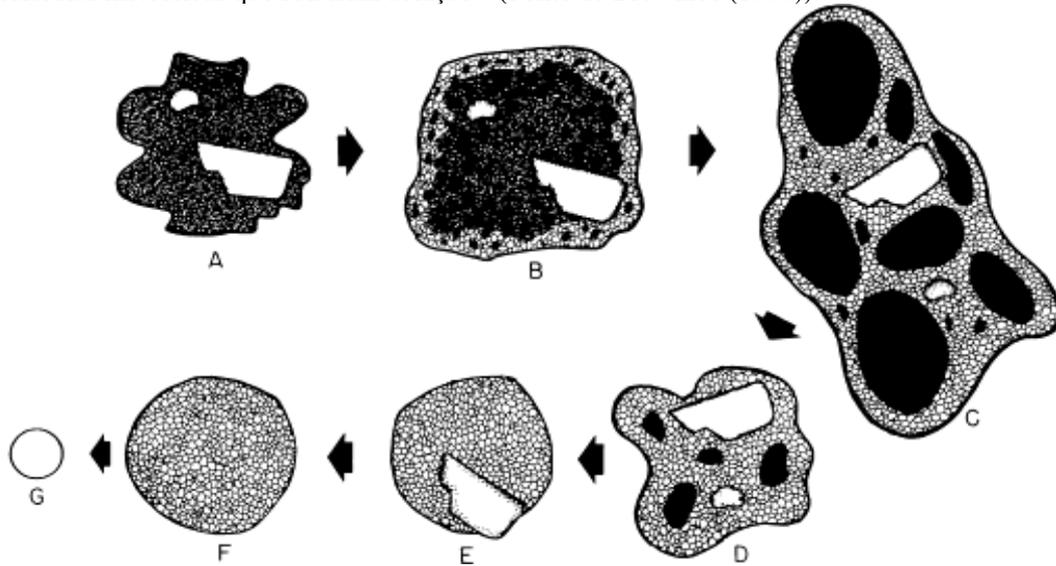
FIGURA 3. Exibe o ângulo relativo da entrada atmosférica do micrometeorito em relação à rotação da Terra e o conseqüente processo de alteração nas partículas. NA TRILHA DA POEIRA ESTELAR (2019), página 132)



De acordo com Brownlee (1983), as esférulas cósmicas podem exibir uma grande variedade em seu nível de aquecimento. Isso muda de partículas mal aquecidas e parcialmente derretidas, até aquelas que foram agressivamente aquecidas a ponto de, tendo o Ferro e a Sílica como elementos principais em sua composição, se esgotarem e evaporarem pelo aquecimento por fricção. O nível de aquecimento também é determinado se a partícula entrar na atmosfera por conta própria ou se for

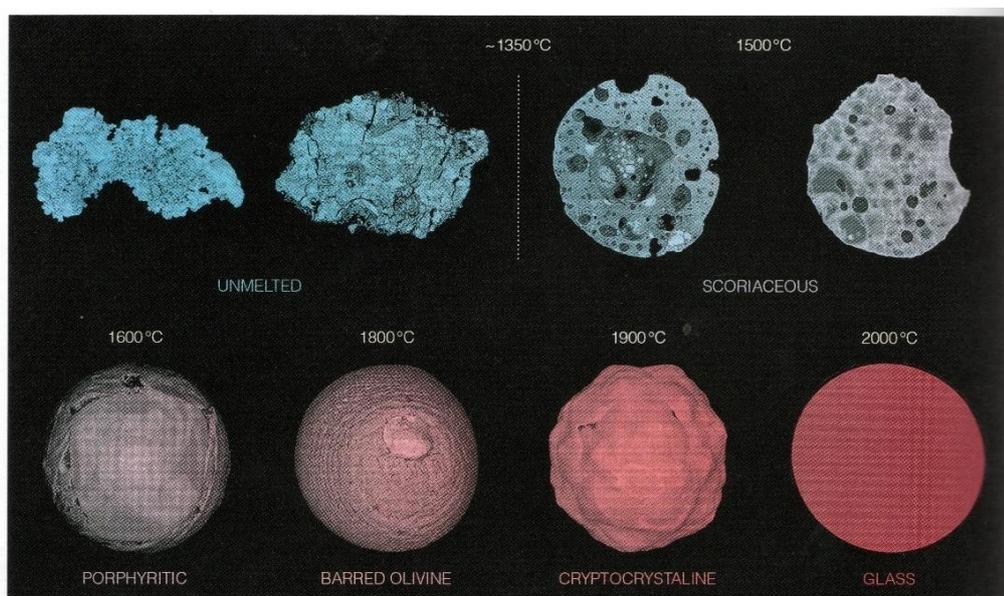
separada de um meteorito maior durante a entrada na atmosfera. A Figura 5 mostra a alteração que ocorre em uma partícula hipotética quando exposta a diferentes graus de aquecimento por atrito.

FIGURA 4. As variações térmicas da partícula milimétrica são hipoteticamente representadas em regiões polidas mostrando etapas sucessivas de aquecimento de A a G. No estágio F, todos os sólidos precursores derreteram, e no estágio G, a evaporação de Fe e Si. Todos esses estágios desta figura foram observados em esférulas meteóricas que sofreram ablação - (Fonte de Brownlee (1983)).



A análise de cristais de micrometeoritos identifica minerais frequentemente encontrados na forma de cristais com matrizes maiores e de granulação fina, caracterizados por espaços vazios. Essas cavidades podem ter sido causadas pela evaporação de minerais durante a ablação. De acordo com Feng *et al*, (2005), espaços vazios podem resultar do rápido resfriamento do material fundido na superfície interna. A Figura 5 mostra os efeitos do aquecimento por fricção no processo de alteração durante a entrada atmosférica, relacionando também a temperatura de pico da partícula com a classificação atual de micrometeoritos.

FIGURA 5. Exibe os vários tipos de micrometeoritos relacionados às suas temperaturas máximas na desaceleração atmosférica, de não derretidos a completamente derretidos. - (Jon Larsen. NA TRILHA DA POEIRA ESTELAR (2019), página 52)



5 EXEMPLOS DE MICROMETEORITOS

A seguir, há algumas exibições ilustrativas de algumas dessas partículas.

MICROMETEORITOS DE OLIVINA BARRADOS

Eles são os mais facilmente encontrados e representam os micrometeoritos derretidos. Possuindo texturas finas e padrões semelhantes a uma "árvore de Natal" formada por cristais de magnetita forjados em temperaturas em torno de 1800 °C, conforme mostrado na Figura 6.

FIGURA 6. Imagem do micrometeorito **SPMM 22**, coletado por Scott Peterson na localização de Hamel / Minnesota em dezembro de 2017. Fotos de Jan Braly Kihle / Jon Larsen.



5.1 MICROMETEORITOS CRIPTOCRISTALINOS

Representado por partículas de esférulas, que podem variar do arredondado para o pontiagudo, são chamados de "turtlebacks" porque os ornamentos irregulares que são formados em temperatura fechada para o 1900 °C. Corresponde ao segundo mais comum nas amostras e também pertence aos grupos de micrometeoritos derretidos. A Figura 7 mostra uma imagem do micrometeorito **SPMM 505** coletado por Scott Peterson em New Hope, Minnesota, agosto de 2018,

composto por vítreo com cristalitos em pequenos grãos, é uma esférula alongada com um Iron – Níquel Bead em sua extremidade.

FIGURA 7. Meteorito criptocristalino SPMM 505 coletado em julho de 2018. Universidade de Augsburg, Minneapolis, Minnesota, julho de 2018;



5.2 MICROMETEORITOS VÍTREOS

Como os anteriores, essas esférulas também pertencem a micrometeoritos fundidos. Viajando em alta velocidade, o atrito eleva a temperatura ao extremo, fundindo essa partícula que sob a influência da rotação e do ângulo forjam suas novas características. A FIGURA 8 compara duas partículas: A de formato esférico sugere que sofreu mais ação de rotação do que a de formato alongado.

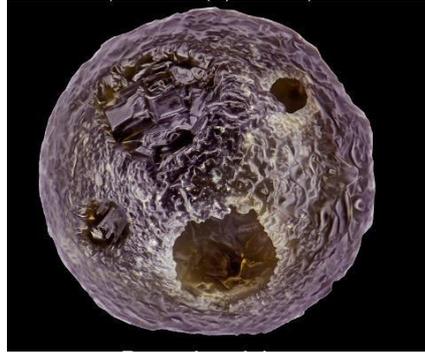
FIGURA 8. Micrometeoritos de vidro. SPMM 358, Universidade de Augsburg, Minneapolis, Minnesota, julho de 2018 (à esquerda) e SPMM 145, New Hope, Minnesota, maio de 2018. Fotos de Jan Braly Kihle / Jon Larsen



5.3 MICROMETEORITOS PORFIRÍTICOS

São formados a temperaturas em torno de 1600 °C e podem ou não ser derretidos de acordo com a temperatura atingida. A FIGURA 9 mostra o micrometeorito SPMM 367, encontrado por Scott Peterson na Universidade de Augsburg, Minnesota, em julho de 2018, composto de cristais de forsterita em uma matriz vítrea.

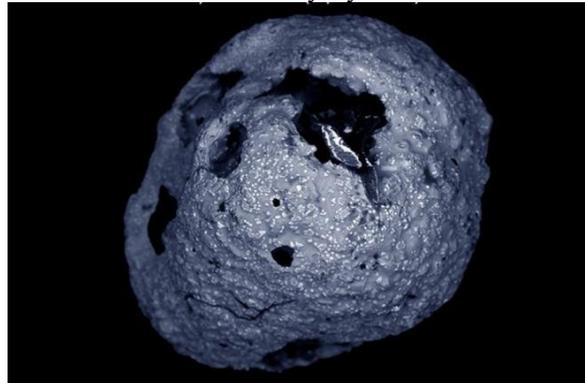
FIGURA 9. Micrometeoritos porfiríticos SPMM 367. Fotos de Jan Braly Kihle / Jon Larsen



5.4 MICROMETEORITOS ESCORIÁCEOS

Na categoria de micrometeoritos parcialmente fundidos, essas esférulas podem estar em forma fina ou em grãos maiores. As partículas mais finas são irregulares, lisas e altamente vesiculares. As partículas maiores são formadas pela fusão parcial de CgMMs, presentes abaixo entre as partículas não fundidas (FIGURA 10).

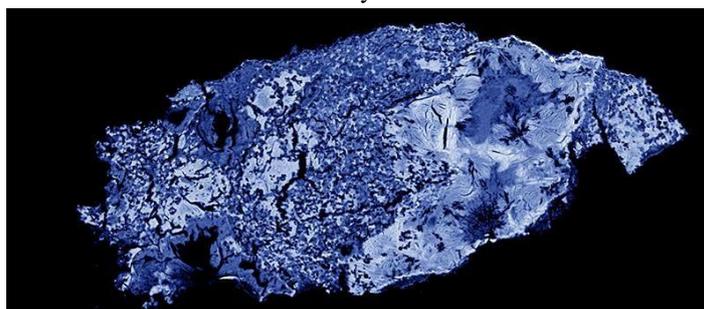
FIGURA 10. Micrometeorito escoriáceo. Fotos de Jan Brainly Kyle / Jon Larsen



5.5 MICROMETEORITOS NÃO DERRETIDOS

Eles podem ser representados por partículas finas e algumas maiores, contendo CgMM e FgMM que formam composições condriticas. As partículas maiores contêm silicatos anidros, principalmente piroxênio (FIGURA 11).

FIGURA 11. Micrometeorito não fundido. Fotos de Jan Braly Kihle / Jon Larsen



6 TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM

Ao longo dos anos, com a necessidade de adquirir mais material para estudo, otimizando custos logísticos e de processamento, diferentes técnicas foram adaptadas e testadas, sempre apresentando aspectos positivos em contraste com os aspectos negativos.

6.1 CALCÁRIOS

PARNELL, J., et al. (2016) estudaram os micrometeoritos encontrados em rochas calcárias nas Ilhas de Skye, Escócia, com o objetivo de testar a metodologia de extração de micrometeoritos em 1 kg de amostra, para que seja possível realizar programas de amostragem viáveis. Além disso, analise a estratificação dessas partículas para encontrar padrões e compare-os com rochas na região de Durness.

Quinze amostras do Grupo Durness foram coletadas em 13 locais nas regiões de Strath e Ord de Skye. O material foi moído até virar pó usando uma prensa de mosca e pesado em porções de 1 kg. A separação magnética foi realizada usando um ímã manual sobre 10 g da amostra. A identificação dos micrometeoritos foi feita por meio de microscopia de varredura (MEV).

Esta pesquisa conclui que uma extração bem-sucedida de micrometeoritos em formações calcárias é possível e que essas partículas ocorrem preferencialmente na parte superior da sucessão, na formação Strath Suardal da idade Arenig, o que é consistente com medições anteriores feitas em calcários da área de Arenig. Dureza. PARNELL, J., et al. (2016) sugerem um período de alto fluxo de micrometeoritos no Ordoviciano médio e que a semelhança na distribuição estratigráfica nas áreas de Skye e Durness é significativa, e não uma consequência da amostragem limitada.

6.2 ÁRTICO ICE

Os estudos de ROJAS et al. (2021) comprovaram a eficiência dos procedimentos de coleta de geleiras, realizados por meio de três campanhas nas proximidades da Estação Concordia franco-italiana, localizada no C/Antarctic Summit. Eles foram capazes de identificar 1280 micrometeoritos não derretidos e 808 esférulas cósmicas com diâmetros entre 30 e 350 μ m, a partir do derretimento e filtragem de grandes volumes de neve.

Este local de estudo oferece condições únicas e ideais para a conservação desses micrometeoritos: eles não são afetados por mudanças de água e não há risco de contaminação causada pela ação humana. As amostras foram coletadas em profundidades superiores a 2m de neve, correspondentes a anos anteriores a 1995, referentes ao início da presença humana no local.

A neve foi descongelada e o líquido filtrado por peneiras adequadas ao tamanho das partículas, usando a gravidade e evitando exercer pressão direta sobre essas microesferas. As partículas encontradas foram analisadas em microscopia de varredura para confirmar a origem do material, e

seus estudos propõem os cometas da família de Júpiter e uma pequena parte do cinturão principal de asteroides como a origem desses micrometeoritos.

A análise dos dados obtidos pela modelagem CABMOD-ZoDy reproduz satisfatoriamente a distribuição de massa de esferas cósmicas e micrometeoritos não derretidos acima de 100 μ m na superfície da Terra, apresentando a massa total de poeira cósmica antes de entrar em nossa atmosfera em cerca de 15.000 toneladas / ano-1. Para partículas menores que 100 μ m, os cálculos do modelo estimam um fluxo de micrometeoritos não fundidos significativamente maior do que o medido na coleção Concordia. Isso sugere a existência de partículas altamente frágeis que não são coletadas através do protocolo adotado nas amostras de neve no Domo C, além da degradação resultante do atrito e das altas temperaturas nessas micropartículas causando a desintegração das partículas mais frágeis.

6.4 GRANDES ALTITUDES

Os estudos de micrometeoritos são realizados observando as marcas de impactos em painéis instalados em satélites artificiais e espaçonaves, em locais de exposição de longo prazo. Dohnanyi (1972) revisou os registros dessas marcas em vários satélites e estimou uma vazão de 20.000 t/ano, muito próxima à observada nos estudos atuais. Os micrometeoritos, apesar de seu tamanho inferior a 1 milímetro, viajam a uma velocidade extremamente alta e sua massa pode causar danos significativos aos equipamentos espaciais, representando um risco para o sucesso da missão. RODMANN, et al (2019) mencionam o fato de que cada vez mais as missões espaciais estão mais distantes e extremas, portanto, é necessário garantir a segurança da missão por meio da menor quantidade possível de escudos defensivos. O impacto repetitivo dessas partículas de tamanho submicrométrico causa degradação gradual nas superfícies da espaçonave e pode danificar espelhos, lentes e sensores. Partículas maiores têm a capacidade de perfurar camadas de isolamento e defletores ópticos. Esses micrometeoritos possuem energia cinética suficiente para perfurar embarcações pressurizadas, como habitats tripulados, tanques de propulsão, baterias e linhas de resfriamento de equipamentos espaciais, representando um risco para o sucesso da missão (RODMANN, et al, 2019).

MIRCH, et al. 1988 comprovaram a degradação de superfícies metálicas altamente reflexivas quando expostas a esses impactos simulados. Para este estudo, um tubo de choque foi utilizado para acelerar as micropartículas à hipervelocidade e realizar simulações para análises laboratoriais.

6.5 SEDIMENTOS DO FUNDO DO MAR

A coleta de micrometeoritos em sedimentos marinhos deu origem aos primeiros estudos e até hoje é considerada uma boa fonte de acúmulo dessas partículas em ambiente preservado.

PRASAD, M.S. et al, (2013) estudaram dez amostras coletadas no Oceano Índico a uma profundidade de aproximadamente 5.000 m, por meio de garras superficiais em uma área de 150 x 200 [km]. O equipamento de coleta de sedimentos cobre uma área de 250 [cm]² e pode capturar cerca de 45 [kg] de sedimentos a uma profundidade de 15 [cm]. Parte desse material é peneirada em uma malha de 200 [µm] totalizando 293 [kg] para processamento. O número total de contas coletadas é recalculado para 45 [kg] de sedimento em cada uma das amostras para cálculos de fluxo para uma determinada área. Após a secagem, o material peneirado >200 [µm] é exposto à separação magnética para isolar grânulos e outros materiais magnéticos. Por meio de microscopia óptica, as esferas são colhidas manualmente dessas frações magnéticas. As frações magnéticas são dominadas por materiais vulcanogênicos apresentados em diferentes formas. As frações não magnéticas foram submetidas à separação de líquidos pesados e foram novamente observadas à microscopia para grânulos com baixa atração magnética. Foi possível isolar 2166 esférulas que foram observadas por microscopia de varredura (MEV) e analisadas por meio de raios-X.

Apesar de ser um ambiente rico em amostras, a coleta desses micrometeoritos deve ser muito bem avaliada, devido aos altos custos de logística e processamento do material. PRASAD, M.S. et al, (2013) mencionam vários fatores que podem apresentar certas limitações para esse tipo de estudo, a saber: Tamanho de partícula relativamente grande, acima de 200 [µm]; destruição dos grânulos durante o processo de peneiramento; influência das taxas de sedimentação; variação de idade dos 15 [cm] superiores do sedimento coletado; medições do diâmetro e densidade dos grânulos; determinação da idade e subamostragem de microtectitos australianos; densidade sedimentar; e diferença no rendimento do grânulo.

PRASAD, M.S. et al, (2013) estudaram o escoamento fazendo estimativas através das taxas de acreção de esférulas cósmicas, adotadas como densidades aproximadas para o tipo I (ferro) como 5,0 [g/cm]³, e S (pedregoso) e G (vítreo) como 3,0 [g/cm]³. O peso foi calculado com base nos diâmetros medidos. Considerando o fluxo onde AE representa a superfície total da Terra (5,1 · 10⁸ [km]²), MS é o peso bruto das esférulas cósmicas acumuladas (g), MC é o peso do sedimento coletado do mar profundo (g) e AS é a taxa de acúmulo de sedimentos na área (g/cm²/ano), respectivamente. As taxas de acúmulo de sedimentos na área são derivadas do pico de abundância de microtectitos pertencentes ao evento de impacto da Australásia. Com base na abundância de esférulas e nas taxas de acúmulo de sedimentos, foi possível calcular a taxa de acúmulo de esférulas cósmicas em ~ 160 ± 70 [ton/ano], mas o fluxo real pode ser muito maior.

A predominância de micrometeoritos compostos por metais, como ferro e níquel, encontrados nas amostras está relacionada à maior resistência das partículas contra as intempéries, em comparação com os micrometeoritos mais frágeis como o vidro, que ao longo do tempo se degradam e não são representativos. nas amostras coletadas.

6.6 ÁGUAS PLUVIAIS (ÁREAS URBANAS)

A coleta de micrometeoritos através da água da chuva é uma excelente ferramenta, mas devido ao seu baixo custo, fácil metodologia e podem ser realizados em qualquer local, devem ser utilizados com muita cautela. Essa técnica utiliza grandes superfícies, como telhados, como um aparato para coletar partículas que são levadas pela água da chuva e posteriormente separadas por atração magnética. O fato dessas amostras serem provenientes de centros urbanos, ou próximos, vem causando discussão entre os pesquisadores, sugerindo que a contaminação terrestre, apresentada de diferentes formas, é um grande impasse, aumentando significativamente o número de registros falso-positivos (Genge et al. 2017).

As pesquisas de Genge (2017) realizadas nos telhados da Noruega e Paris usaram 30.000 [m]² de área de cobertura e foram capazes de separar 500 partículas semelhantes a micrometeoritos por meio de microscopia óptica, selecionadas com base em vários fatores: (1) forma esférica ou subesférica; (2) cor e brilho (preto vítreo, preto a cinza metálico e translúcido); e (3) presença de dendritos superficiais ou saliências metálicas superficiais.

Destas, 48 partículas, variando de 300 [µm] a 400 [µm], foram submetidas a um processo de filtragem magnética, microscopia de varredura e espectrometria de massas para analisar as características mineralógicas, e concluíram que são formadas por silicatos semelhantes aos encontrados em materiais meteóricos e pela presença de elementos de terras raras. Todas as partículas são esférulas cósmicas do tipo S e têm propriedades, texturas e composições mineralógicas idênticas às coletadas na Antártida e sedimentos do fundo do mar, incluindo porfirias, barragens e criptocristalinas e partículas que retêm metal Fe-Ni e grânulos de sulfeto.

Por meio dessa pesquisa, eles foram capazes de concluir que a abundância de esférulas recuperadas é consistente com as estimativas do fluxo global de esférulas para a Terra de ~ 6 [toneladas / dia]. A abundância relativa de tipos de esférulas dentro dessas esférulas urbanas modernas e cerca de 800-1500 esférulas da localidade do Poço de Água do Pólo Sul, em comparação com coleções de esférulas acumuladas por períodos mais longos, fornece a primeira evidência de variações de curto prazo no fluxo. de poeira cósmica através do Quaternário.

Vários outros métodos são usados para coletar micrometeoritos da água da chuva, mas pouco trabalho foi feito para avaliar o método mais eficiente de coletar essas partículas do espaço e depois analisá-las. Mas espera-se que os melhores resultados estejam relacionados à área de coleta.

Miller (2013) usou uma folha de plástico montada na parte externa por uma ou duas semanas e, por meio da atração magnética, coleta as partículas. Hamilton (2007) usou uma tigela sob um bebedouro para reter as partículas mais pesadas no fundo e separá-las por meio de atração magnética.

BLAKE et al (2018) desenvolve uma pesquisa para medir a eficiência do aparelho coletor, testando quatro tipos de coletores: os dois primeiros conectavam os coletores ao canal de água na cobertura da casa, com a vantagem de aproveitar toda a superfície, além de aumentar o volume de água. Um coletor consistia em um balde simples colocado abaixo da calha para reter os micrometeoritos no fundo, por gravidade, e posteriormente coletados por meio de atração magnética, enquanto um segundo procedimento unia uma armadilha P à calha com ímãs fixados no fundo da calha. armadilha, esperando que as partículas sejam presas pelo magnetismo à medida que o fluxo de água passa pelo tubo. Como controle, duas armadilhas foram instaladas longe da calha de água do telhado.

O estudo de MONTEIRO (2013) realizado na cidade de Planaltina/DF utilizou como aparelho de coleta o telhado de alguns prédios universitários, além da utilização de alguns recipientes de coleta. A metodologia de Genge (2008) e Brownlee (1983) foram utilizadas como parâmetro para identificar os micrometeoritos encontrados, separador por meio de microscopia óptica e uso de microscópio petrográfico de luz transmitida e refletida.

Oitenta partículas foram separadas por meio de observações relacionadas à forma, cor, brilho e transparência, sugerindo que elas pertencem ao grupo dos micrometeoritos fundidos e à classe das esférulas cósmicas, devido à ação das altas temperaturas no momento da entrada na atmosfera terrestre.

Este estudo é importante para enfatizar que as observações por meio de microscopia de varredura, associadas a outras técnicas, são essenciais para a correta identificação de material extraterrestre. Uma dessas partículas apresentadas no trabalho levanta dúvidas sobre sua origem e essa resposta só pôde ser confirmada com metodologia de alta resolução.

6.7 FLUXO DE MICROMETEORITOS

Estudar o fluxo de micrometeoritos significa estimar a massa dessa matéria extraterrestre que entra em nossa atmosfera a cada ano, bem como a possível incidência dessas partículas na superfície de satélites artificiais e espaçonaves, medida em [toneladas/ano].

De acordo com ROJAS et al. (2021), o fluxo anual de material extraterrestre que entra em nossa atmosfera é representado por partículas com tamanho inferior a 1 milímetro e a distribuição de sua massa e o valor absoluto desse fluxo ainda é incerto devido à dificuldade em controlar tanto a eficiência do protocolo de coleta quanto o parâmetro de exposição (produto do tempo de área em [m²/ano]).

O estudo do fluxo de micrometeoritos realizado por observações de marcas de impacto nas superfícies de naves espaciais e satélites artificiais sugere uma taxa anual de 40.000 ± 20.000 [toneladas/ano], conforme apresentado por DOHNANYI (1972) e LOVE & BROWNLEE (1991).

Os estudos de escoamento realizados por MAURETTE et al. (1987) na Groenlândia permitiram uma análise de períodos de tempo mais curtos, mas com maior resolução, sugerindo uma vazão anual com massa total de >4000 [toneladas/ano] durante os últimos 2000 anos.

YADA et al. (2004) estudaram os micrometeoritos encontrados no gelo azul ao redor do Monte Yamato / Antártica. Por meio da análise de gases nobres do resíduo, fluxos da ordem de 11.000 ± 6600 [toneladas/ano] entre 27 e 33 [kyr] B.P. e 16.000 ± 9100 [toneladas/ano]. Os resultados sugerem que a taxa de acreção de micrometeoritos no último período glacial foi comparável à atual.

Os estudos de TAYLOR et al. (2000) estimaram os micrometeoritos encontrados no poço de abastecimento de água da estação de pesquisa do Pólo Sul. Este poço capta água de uma profundidade de 90m, representando uma amostra de material do derretimento do gelo. Os autores estimaram uma taxa de acreção de 1100 ± 200 [toneladas/ano] para partículas de tamanho entre 50-300 [μm], de 1000 a 1500 dC, no entanto, quando combinadas com a massa de materiais não fundidos, as estimativas aumentam para 2700 ± 1100 [t/ano]

Cerca de 90% do material que entra na atmosfera terrestre é vaporizado e não atinge o solo, mas o irídio liberado por essas partículas precipita para a superfície terrestre. Essas medições de alta resolução podem fornecer estimativas razoavelmente precisas desse material extraterrestre total recebido pela Terra. Peucker-Ehrenbrink & Ravizza (2000) mediram o irídio total encontrado no sedimento marinho abissal e estimaram um fluxo próximo a ~ 30.000 [toneladas / ano].

7 DISCUSSÃO

Observando os métodos de coleta, fica clara a necessidade de buscar métodos alternativos de coleta (como a coleta em áreas urbanas, uma metodologia nova e que só recentemente está sendo popularizada), devido a fatores como a exposição limitada dos receptores utilizados para coletar os micrometeoritos. observado em coleções em grandes altitudes (estratosfera); Os altos custos de logística na realização de coletas em sedimentos do fundo do mar, em geleiras árticas e em aviões de alta altitude; e no fenômeno de erosão de silicone observado em esférulas do tipo G pelo contato da água com as amostras, observado em coletas em sedimentos do fundo do mar e também pode ser observado em amostras de geleiras árticas. A importância da coleta realizada em áreas urbanas reside na ausência e/ou minimização desses fatores em sua natureza.

Tal como acontece com todos os outros métodos de recolha de micrometeoritos, a recolha urbana tem pontos positivos e negativos, mas tendo em conta todos os seus benefícios, a informação de que a sua prática é tão eficaz como todas as outras em maior medida é afirmativa. escala. As características que viabilizam a coleta de micrometeoritos em áreas urbanas por meio da coleta de material em telhados e calhas com o auxílio da água da chuva são: Uma metodologia fácil; A metodologia de coleta de telhados e calhas consiste em etapas simples que não apresentam muita dificuldade e/ou ameaças ao coletor, consistindo em uma simples coleta de material (poeira)



concentrado em pontos baixos do telhado após uma varredura do mesmo e limpeza das calhas; Abundância de telhados, de forma simples, o número de telhados acessíveis que apresentam condições favoráveis para a coleta dessas partículas extraterrestres é muito expressivo, resultando em uma grande área de exposição para que micrometeoritos sejam capturados e coletados, em relação a outros métodos de coleta. , há uma grande diferença numérica na área de coleta direta desses espécimes, resultando inevitavelmente em maiores coleções de micrometeoritos, fator crucial nos estudos dessas partículas; Por fim, os baixos custos operacionais e a logística simples são outro fator que torna esse método de coleta mais acessível em comparação com outros. Considerando esses pontos, é fácil perceber o potencial e a eficácia desse método de coleta.

No entanto, também existem vieses que precisam ser levados em consideração quando se trata desse método específico de coleta, sendo eles: Incerteza no processo de concentração, apesar do número abundante de telhados em áreas urbanas, é comum enfrentar incertezas sobre alguns aspectos do telhado ou calhas onde a coleta será realizada, fatores como a falta de clareza sobre a idade exata do telhado, ou seja, há quanto tempo exatamente esse telhado e/ou calhas em questão estão coletando o material a ser processado, essa circunstância afeta diretamente a estimativa do fluxo de micrometeoritos dessa coleta; Incerteza no processo de degradação do material, ou seja, cada cobertura ou zona de coleta possui uma topologia única, por isso torna-se muito difícil se o processo de decantação desses materiais com padrões caóticos, de forma simples, torna-se impossível saber se durante o processo após a decantação dessas partículas, algum corpo de prova foi retirado do ponto de concentração do material, seja pelo vento, topologia irregular ou mesmo por interação humana ou animal; O fator mais importante a considerar, no entanto, reside na contaminação do material coletado por partículas de origem terrestre ou antrópica, ou seja, existem partículas de origem terrestre (seja por atividade humana ou natural) que se parecem com os raros micrometeoritos e podem ser facilmente confundidos com estes. Esses "impostores" possuem uma alta taxa de ocorrência apresentando uma alta relação sinal-ruído, e torna-se necessário mapear os elementos químicos dos elementos identificados como suspeitos nessas coleções através de "análise de espectrometria de massa" onde o espectro químico é mapeado e utilizado para verificação de origem extraterrestre (os picos característicos neste são Silicene, Magnésio e Oxigênio).

Embora esses vieses constituam um ambiente desfavorável para a coleta de micrometeoritos em áreas urbanas em contraste com outros métodos de coleta, o fato de a metodologia de coleta aplicada neste cenário ser simples, ela pode ser otimizada para minimizar essas deficiências. Com uma escolha adequada da zona de coleta, é possível escolher um ambiente no qual os parâmetros essenciais de coleta (área e tempo de coleta) sejam melhor controlados, permitindo assim uma estimativa mais precisa do fluxo de micrometeoritos.

A coleta e catalogação de partículas que contaminam a coleta é um processo que, se colocado em ação, minimiza drasticamente a relação sinal-ruído, tornando a identificação de micrometeoritos mais eficaz (tanto no processo de filtragem magnética quanto na análise microscópica), um processo crucial para caracterizar esse método de coleta como eficiente e viável. Esse "perfilamento de impostores" consiste em um processo de identificação, estudo e catalogação dessas partículas que se assemelham a MM's, tal catalogação já está sendo feita por cientistas que realizam essas coletas em áreas urbanas (é importante ressaltar que esse processo de contaminação não é exclusivo de áreas urbanas, mas também está presente em outros métodos de coleta, mas isso se torna expressivo nessas áreas devido à alta atividade humana). A seguir, ilustramos alguns dos "impostores" mais comuns encontrados em coleções anteriores em áreas urbanas:

7.1 IMPOSTORES QUE OCORREM NATURALMENTE

7.1.1 Fulgurites

FIGURA 12. Ilustração de um fulgurita - (Jon Larsen. EM BUSCA DA POEIRA ESTELAR (2017), página 126)



Os fulgurites, também conhecidos como "tubos de raios", são formados quando um raio atinge a areia do deserto e cria essas gotículas a partir da areia derretida, geralmente com tamanho entre 0,6 e 2,0 mm. Existem 4 tipos de fulgurites, o primeiro conforme descrito acima, mas eles também são criados quando um raio atinge diretamente uma rocha (raras ocasiões) ("fulgurites exógenos"), a pluma de poeira de um vulcão em erupção ("vulcões-fulgurites exógenos") e os mais comuns e não bem descritos "fito-fulgurites exógenos". Embora um terço dessas partículas seja magnética devido à sua composição, em média há 100 raios por segundo e, portanto, espera-se que os fulguritos sejam encontrados em todos os lugares.

7.1.2 As lágrimas de Pelé

FIGURA 13. Ilustração de uma Tefra vulcânica (lágrima de Pelé) - (Jon Larsen. EM BUSCA DE POEIRA ESTELAR (2017), página 145)

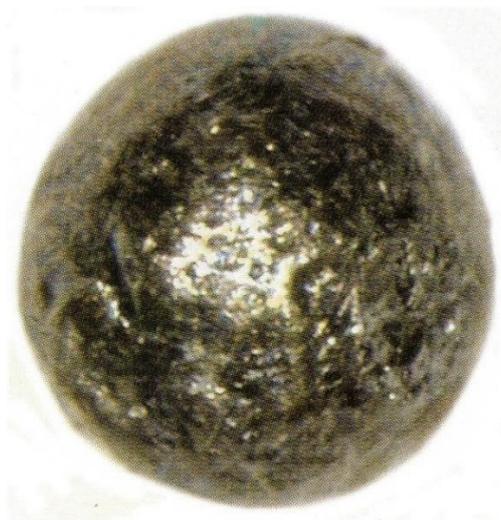


A lágrima de Pelé (Tefra vulcânica) são esférulas criadas em erupções vulcânicas pela extinção de spray de magma geralmente com tamanho entre 2 e 64 mm (10 a 100 vezes maior que um micrometeorito médio).

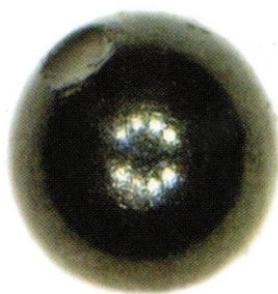
7.2 IMPOSTORES ANTROPOGÊNICOS

7.2.1 Traços do Homem

FIGURA 14. Ilustração de uma esférula antropogênica - (Jon Larsen. EM BUSCA DE POEIRA ESTELAR (2017), página 120)



A Figura 12 exibe uma esférula de origem antropogênica. Esses tipos de esférulas são comumente encontrados em áreas urbanas pela atividade humana (da soldagem de metais, por exemplo) e, em princípio, podem ser diferenciados dos micrometeoritos devido às suas propriedades morfológicas (Muitas dessas partículas são criadas em fontes de faísca próximas ao nível do solo e ainda são parcialmente derretidas ao atingir o solo. Os micrometeoritos, por outro lado, são criados na atmosfera superior e têm uma morfologia diferente).



7.2.2 Esférulas magnéticas pretas

FIGURA 15. Ilustração de uma esférula BNS - (Jon Larsen. EM BUSCA DA POEIRA ESTELAR (2017), página 107)

Acima está uma ilustração de uma esférula magnética preta, essas partículas têm suas fontes encontradas em concreto asfáltico e cola e em telhas e variam em tamanho entre 3 – 125 μm . Também são chamadas de "cinzas volantes" e são muito comuns e são localmente abundantes, o que é uma indicação de origem terrestre.

8 PESQUISAS ADICIONAIS

Como último objetivo desta revisão de literatura é propor uma metodologia de coleta de micrometeoritos em um cenário que forneça condições para minimizar as desvantagens declaradas e maximizar a eficiência da coleta, tanto em termos de parâmetros controlados quanto em quantidade da coleta. O primeiro passo é escolher um local onde a maior parte da contaminação seja minimizada, pois a maioria dos contaminantes usuais tem origem antropogênica (esférulas metálicas e partículas BMS), podemos esperar que a contaminação dessas esférulas diminua quanto mais for o local da coleta, no entanto, escolher um local muito distante de qualquer área urbana (uma área remota) anularia o propósito de tornar essa metodologia simples e acessível, portanto, uma área semi-urbana (ou áreas rurais) pode se encaixar muito bem nessa descrição, porque não estão localizadas remotamente, mas geralmente estão longe o suficiente das áreas urbanas para minimizar o fator contaminante, melhorando significativamente a relação sinal-ruído da coleção.

O local sugerido por esta proposta está localizado nas coordenadas (19°00'53" S; 57°56'43" W). Consiste em uma área de 200 [m] x 3 [km] localizada a cerca de ~30 [km] da área densamente povoada mais próxima (Corumbá – MS, Brasil):

FIGURA 16. Imagem de satélite da área proposta de coleta de micrometeoritos

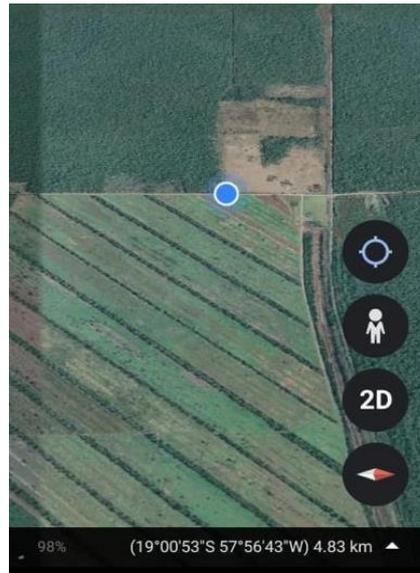
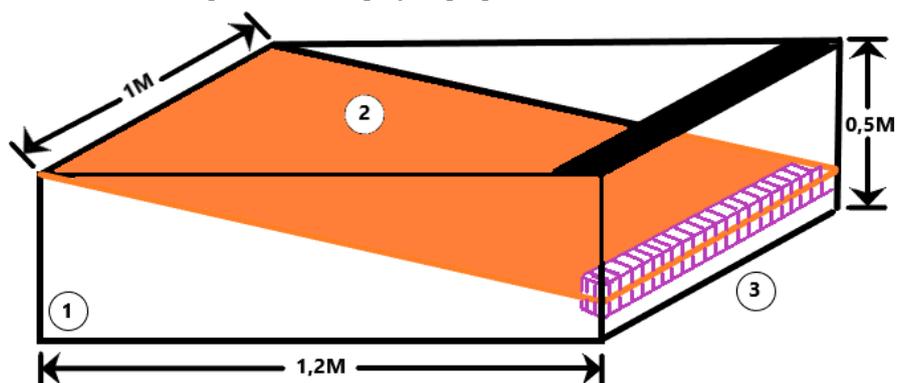


FIGURA 17. Imagem aérea da área proposta de coleta de micrometeoritos



A metodologia sugerida também consiste em projetar recipientes que permitam que a coleção tenha parâmetros controlados e controle sobre os processos que podem ocorrer no material decantado (Concentration e weather biasing).

FIGURA 18. Um esquema sobre o projeto proposto dos coletores de micrometeoritos



- 1 – invólucro metálico da armadilha projetada (recipiente). Essa escolha de material foi baseada no fato de que ter esse invólucro de metal daria resistência às intempéries à armadilha (longas exposições ao vento, sol e chuva). As paredes do contêiner também não permitiriam que os micrometeoritos acretados na placa receptora escapassem devido ao viés de intemperismo, como ventos fortes. A parte superior do recipiente tem uma abertura de 1 [m]^2 , permitindo uma estimativa mais precisa do fluxo de micrometeoritos.
- 2 – Placa receptora em vidro temperado. A escolha de usar vidro temperado é porque é uma superfície muito lisa e pode resistir a longa exposição ao clima, isso é importante porque se o material receptor não for liso, algumas partículas podem ficar presas na topologia irregular do receptor. Este receptor é colocado dentro do invólucro metálico em um ângulo muito leve (exagerado no diagrama) para permitir que o material que atinge a placa se concentre no ponto baixo da inclinação. É importante notar que a placa seria colocada a alguma distância abaixo da borda superior do recipiente, permitindo que as paredes metálicas do recipiente não permitissem que nenhum material acretado escapasse devido ao intemperismo.
- 3 – Malha metálica fina. Essa malha metálica precisa ser capaz de filtrar o material acretado de acordo com o tamanho, tendo uma granulometria de pelo menos $100 \text{ [}\mu\text{m]}$ (a maioria dos micrometeoritos tem em média cerca de $200 \text{ [}\mu\text{m]}$ - $300 \text{ [}\mu\text{m]}$). Essa configuração permite que a água da chuva lave qualquer material que tenha se acumulado ao longo da placa receptora para ser lavado para essa malha e filtre quaisquer partículas menores. É importante ressaltar que as dimensões do invólucro são de $1 \text{ [m]} \times 1,2 \text{ [m]}$, permitindo que uma pequena parte da superfície superior do recipiente seja coberta ao invés de exposta, essa cobertura protegeria a região de concentração criada pela placa receptora contra a longa exposição ao sol, preservando a longevidade dessa malha.

Além disso, algumas características desta armadilha projetada seriam uma grade potencialmente cobrindo a parte exposta da superfície superior do recipiente, essa grade impediria que corpos maiores (como folhas) e animais menores entrassem no recipiente, contaminando o material acretado. Também seria necessário implantar um sistema de drenagem da água, preferencialmente sob a malha metálica que filtra o material, assemelhando-se a uma calha, permitindo que não só a água da chuva fluísse para fora do recipiente, mas também o material feito de partículas menores (que não foram capturadas pela malha devido ao seu tamanho não significativo). Algum tipo de mecanismo de ponderação no fundo do recipiente também seria ideal para que a armadilha não tombasse e caísse ao longo dos tempos de exposição devido a possíveis

colisões com animais maiores ou ventos muito fortes, isso poderia ser conseguido adicionando uma camada de concreto à superfície interna inferior do invólucro.

Este projeto, juntamente com este local sugerido para a coleta, permitiria uma coleta mais metódica de micrometeoritos, minimizando os vieses de intemperismo e a contaminação do material, proporcionando um processo de acreção controlado. As dimensões desta armadilha permitiriam que ela fosse movida entre os tempos de coleta, permitindo que esta metodologia não fosse exclusiva do local, se alguns outros locais de coleta em potencial forem detectados, essas armadilhas poderiam ser movidas permitindo que o processo de coleta fosse repetido várias vezes. As escolhas de materiais do contêiner também permitem que os contêineres tenham uma longevidade para permitir várias coletas com uma única armadilha e, no caso infeliz de essas armadilhas serem danificadas, elas não são difíceis de serem reparadas, aumentando ainda mais sua longevidade; Também torna os custos de produção de tais armadilhas relativamente baixos (esses materiais não são difíceis de serem obtidos nem são caros), permitindo que um grande número dessas armadilhas seja fabricado, cobrindo uma grande área de exposição e maximizando assim a eficiência da coleta.

Este método permite uma coleta controlada de materiais: Como o fluxo esperado dessas partículas é de 1 micrometeorito por metro quadrado por ano, deixar a área de exposição ser de 1 [m]² é adequado; Devido à configuração do recipiente é possível ajustar o tempo de exposição do receptor de forma a não atrapalhar o material coletado (não permitindo o entupimento da malha), também porque estes não serão colocados em áreas remotas (mas apenas em zonas pouco povoadas) é possível ter o ativo atento para que a grade externa que protege o receptor não acumule material a ponto de bloquear a área exposta; Devido às suas dimensões, é possível utilizar o contentor em várias recolhas e em diferentes locais de recolha, diminuindo também os gastos logísticos; Devido ao material escolhido para esta armadilha, também é possível produzir vários desses recipientes com baixo custo de fabricação.

Por último, é necessário realizar mais um procedimento com recurso a esta metodologia. Mesmo que isso minimize a relação sinal-ruído, haverá contaminação do material coletado, ou seja, esférulas e partículas que assimilam micrometeoritos, mas têm origem terrestre (natural ou artificial), uma das características de identificação do tipo de partículas impostoras é sua abundância local, micrometeoritos caem aleatoriamente na superfície da Terra e espera-se que sejam encontrados em praticamente todos os lugares, mas algumas partículas terrestres serão mais comuns em algumas áreas do que em outras (BMS, por exemplo, são mais comuns perto de áreas fortemente urbanizadas). Assim, é necessário catalogar meticulosamente todos os contaminantes comuns da área, um "perfil de impostor local" precisa ocorrer para melhorar o processo de filtragem por meio da análise microscópica do material coletado.

Todos esses fatores permitem uma metodologia eficiente e duradoura para a coleta dessas partículas extraterrestres, melhorando significativamente a relação sinal-ruído e o tamanho das coleções de micrometeoritos que podem ser feitas a partir disso. Torna-se fácil ver o potencial da coleta usando parâmetros controlados como os descritos aqui e, portanto, a importância de aplicar os conceitos usados para construir essa metodologia sugerida, a fim de ter uma melhor compreensão dessas partículas misteriosas.

9 CONCLUSÃO

Os estudos de micrometeoritos sugerem que sua composição, formada por moléculas e estruturas complexas, são mais antigas que o nosso planeta e o nosso sistema solar, por isso, estudar esse material e entender suas características físico-químicas são fundamentais para responder questões ainda obscuras sobre a formação da Terra. Além disso, o interesse na ação dessas partículas em naves espaciais e satélites de comunicação são essenciais para o desenvolvimento da pesquisa espacial.

Como a coleta de micrometeoritos em áreas urbanas é considerada viável, é necessário desenvolver um catálogo que permita a identificação de partículas terrestres que possam ser identificadas como falsos positivos e facilite a triagem das amostras.

A implementação de uma metodologia adequada como a descrita neste projeto, que visa tanto minimizar incertezas e incógnitas na coleta de micrometeoritos (em seus processos de decantação e viés climático) quanto utilizar aspectos como baixo custo e logística simples para ampliar significativamente o alcance das coletas e estudo de partículas extraterrestres.

O campo de "micrometeoritos" progrediu consideravelmente nas últimas duas décadas desde a coleta pioneira de partículas do fundo do mar (Brownlee 1985) e do gelo antártico (Maurette et al. 1991). A caracterização de muitos milhares de MMs pelos autores deste artigo e outros permitiu que grupos e classes de partículas fossem identificados e colocados em uma estrutura geneticamente significativa. No futuro, à medida que o trabalho de caracterização desses materiais avança, tipos raros de MM serão, sem dúvida, reconhecidos e permitirão que os MMs sejam usados para restringir ainda mais a diversidade de corpos asteróides e cometários em nosso sistema solar.



REFERÊNCIAS

- BLAKE, M., McKEE, J., STATOM, R. QIU, C. MENAPACE, F. Avaliando estratégias para coletar micrometeoritos da água da chuva para cientistas cidadãos. *Revista de Educação em Astronomia e Ciências da Terra* - 2018 Volume 5, Número 2
- BROWNLEE, D. E., Poeira cósmica: Coleta e pesquisa. *Annu. Rev. Planeta Terra. Sci.*, 13, 147–173, 1985.
- BROWNLEE, D. E., TOMANDL, D. A. & OLSZEWSKI, E. Poeira interplanetária: uma nova fonte de material extraterrestre para estudos de laboratório, *Proc. Lunar Sci. Conf. 8º*, pp. 149–160. 1977.
- DOHNANYI, J. S. Objetos interplanetários em revisão: Estatísticas de suas massas e dinâmicas, *Ícaro*, 17, 1–48, 1972.
- DREDGE, I., PARNELL, J., LINDGREN, P., & BOWDEN, S. Fluxo elevado de esférulas cósmicas (micrometeoritos) em rochas ordovicianas do Grupo Durness, NW Scotland: *Scottish Journal of Geology*, v. 46, p. 7–16, 2010.
- CHAPMAN, M. G. & LAURETTA, D. Esférulas de ferro da zona de fronteira Triássico-Jurássico do Baixo Moennave, Nevada: um relatório preliminar sobre possíveis depósitos de poeira extraterrestre. No 32º Congresso Geológico Internacional, Florença, Sessões Científicas: Resumos (Parte 2), 1140. 2004.
- DAVIDSON, J., GENGE, M. J., MILLS, A. A., JOHNSON, D. J. & GRADY, M. M. Poeira cósmica antiga da halita triássica. *Ciência Lunar e Planetária XXXVIII*, Resumo 1545. 2007.
- DUPRAT, J., ENGRAND, C., MAURETTE, M., KURAT, G., GOUNELLE, M. & HAMMER, C. Micrometeoritos da neve da Antártica Central: A coleção concordia. *Avanços na Pesquisa Espacial* 39, 605–11. 2007.
- GRACHEV, A. F., KORCHAGIN, O. A., TSELMOVICH, V. A. & KOLLMANN, H. A. Poeira cósmica e micrometeoritos na camada de argila transicional no limite Cretáceo-Paleógeno na seção Gams (Alpes Orientais): morfologia e composição química. *Izvestiya, Física da Terra Sólida* 44, 555–69. 2008.
- HARVEY, R.P., MAURETTE, M. A origem e o significado da poeira cósmica do Walcott Névé, Antártica. *Planeta Lunar. Sci.* 21, 569e578, 1991.
- HUGHES, D. H. Meteoros. em *Poeira Cósmica*. ed. McDonnell, J. A. M. Pp. 123-185. Wiley, Nova York, NY, 1978.
- GENGE, M.J. Poeira do asteroide Koronis no gelo da Antártica. *Geologia*, v. 36, p. 687–690, 2008.
- GENGE, M.J. City Stardust: Micrometeoritos em nossos próprios quintais. Museu Bell, 2020. Depositado em <https://www.bellmuseum.umn.edu/blog/city-stardust-micrometeorites/> , acesso em março 2021.
- GENGE, M.J., LARSEN, J. VAN GINNEKEN, N. & SUTTLE, M.D. Uma coleção urbana de grandes micrometeoritos modernos: evidências de variações no fluxo de poeira extraterrestre através do Quaternário. *Geologia*, 45(2); pág. 119–122, 2017.

GENGE, M.J., GRADY, M.M. E HUTCHISON, R. As texturas e composições de micrometeoritos antárticos de granulação fina: Implicações para comparações com meteoritos: *Geochimica et Cosmochimica. Acta*, v. 61, p. 5149–5162, 1997.

LOVE, S.G., & BROWNLEE, D.E. Aquecimento e transformação térmica de micrometeoróides que entram na atmosfera da Terra: *Ícaro*, v. 89, p. 26–43, 1991.

AMOR, S. G., BROWNLEE, E. Uma medição direta da taxa de acreção de massa terrestre de poeira cósmica, *Science*, 262, 550–553. 1993.

MAURETTE, M. JEHANO, C., ROBIN, E. & HAMMER, C. Características e distribuição em massa de poeira extraterrestre da calota de gelo da Groenlândia. *Natureza*, 301, 473–477, 1987.

MAURETTE, M., OLINGER, C., MICHEL-LEVY, M.C., KURAT, G., POURCHET, M., BRANDSTATTER, F., & BOUROT-DENISE, M. Uma coleção de diversos micrometeoritos recuperados de 100 toneladas de gelo azul antártico. *Natureza*, v. 351, p. 44–47, 1991.

MIONO, S., NAKAYAMA, Y., SHOJI, M., TSUJI, H. & NAKANISHI, A. Origem das microfêrulas no chert acamado do Paleozóico-Mesozóico estimado pela análise PISHE. *Instrumentos e Métodos Nucleares em Pesquisa Física B75*, 435–39. 1993.

MONTEIRO, S. T. Coleta, Análise e Classificação de Micrometeoritos em Planaltina – Df. Universidade de Brasília, monografia, 2013.

ONOUE, T., NAKAMURA, T., HARANOSONO, T., & YASUDA, C. Composição e taxa de acreção de micrometeoritos fósseis recuperados em depósitos de águas profundas do Triássico Médio. *Geologia*, 39, 567–70. 2011.

PARNELL, J., SALTER, N. & WEST, P. Um registro de micrometeorito em calcários do Ordovician Durness Group, Ilha de Skye. *Transações de Ciências da Terra e Ambientais da Royal Society de Edimburgo*, 106, 81–87, 2016.

PEUCKER-EHRENBRINK, B., RAVIZZA, G. Os efeitos dos artefatos de amostragem nas estimativas de fluxo de poeira cósmica: Uma reavaliação de traçadores não voláteis (Os, Ir), *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 1965–1970. 2000.

PRASAD, M. S., RUDRASWAMI, N. G., PANDA, D.P. Fluxo de micrometeoritos na Terra durante os últimos ~ 50.000 anos. *Jornal de Pesquisa Geofísica: Planetas*, 118: 2381–2399, 2013.

ROCHETTE, P., FOLCO, L., SUAVET, C., VAN GINNEKEN, M., GATTACCECA, J., PERCHIAZZI, N., BRAUCHER, R. & HARVEY, R.P. Micrometeoritos das montanhas transantárticas. *Proc. Natl. Acad. Sci. EUA*, 105, 18, 206–211p. 2008.

RODMANN, J., BUNTE, K.D., MILLER, A., MILLINGER, M., TRAUD, M., ZAAKE, M. Avaliação de risco de impacto de micrometeoróides para missões interplanetárias. *Primeiro Int'l. Conf de Detritos Orbitais*, 2019.

ROJAS, J., DUPRAT, J., ENGRANDA, C., DARTOISC, E., DELAUCHEA, L., GO, L. O fluxo de micrometeoritos no Domo C (Antártica), monitorando a acreção de poeira extraterrestre na Terra. *Cartas de Ciências da Terra e Planetárias* 560, 2021

RIETMEIJER, F. J. M. Partículas de poeira interplanetária, em *Planetário. Materiais*, Rev. Mineral., vol. 36, editado por J. J. Papike, The Mineralogical Society of America, Washington, D.C., EUA pp. 2-1–2-95, 1998.



- SALTER, N., OESTE, P. Um registro de micrometeorito em calcários do Ordovician Durness Group, Ilha de Skye. *Transações de Ciências da Terra e Ambientais da Royal Society de Edimburgo*, 106, 81–87, 2016.
- SMITHSONIAN MUSEU NACIONAL DO AR E DO ESPAÇO. Imagem. Depositado em <https://airandspace.si.edu/explore-and-learn/multimedia/detail.cfm?id=6572>, último acesso em março 2022.
- TAYLOR, S. & BROWNLEE, D. E. Esférulas cósmicas no registro geológico. *Meteoríticos* 26, 203–11. 1991.
- TAYLOR, S., LEVER, J. H. & HARVEY, R. P. Números, tipos e composições de uma coleção imparcial de esférulas cósmicas. *Meteorítica e Ciência Planetária* 35, 651–66. 2000.
- TAYLOR, S., LEVER, J.H., HARVEY, R.P. Taxa de acreção de esférulas cósmicas medida no Pólo Sul. *Natureza* 392, 899e903. 1998
- TOMKINS, A.G., GENGE, M.J., BOWLT, L., WILSON, S.A., BRAND, H.E.A., & WYKES, J.L. Micrometeoritos antigos sugestivos de uma atmosfera superior arqueana rica em oxigênio: *Nature*, v. 533, p. 235–238, 2016.
- VAN GINNEKEN, M., FOLCO, L., CORDIER, C., & ROCHETTE, P. Micrometeoritos condríticos das Montanhas Transantárticas, *Meteorito. Planeta. Sci.*, 47, 228–247. 2012.
- VOLDMAN, G. G., GENGE, M. J., ALBANESI, G. L., BARNES, C. R. & ORTEGA, G. Esférulas cósmicas do Ordoviciano da Argentina. *Jornal Geológico* 48, 222–35. 2013.
- ZOLENSKY, M., BLAND, P., BROWN, P. HALLIDAY, I. Fluxo de materiais extraterrestres, em *Meteoritos e o Sistema Solar Primitivo II*, editado por D. S. Lauretta e H. Y. McSween, pp. 869–888, Universidade do Arizona. 2006.
- YADA, T., NAKAMURA, T., TAKAOKA, N., NOGUCHI, T., TERADA, K., YANO, H., NAKAZAWA, T., KOJIMA, H. A taxa global de acreção de materiais extraterrestres no último período glacial estimada a partir da abundância de micrometeoritos no gelo da geleira antártica, *Earth Planets Space*, 56, 67–79, 2004.
- ABBAGNAMO, N. *Diccionario de filosofia*. México: fondo de cultura econômica, 1963.
- POLAK, Ymiracy Nascimento de Souza; DINIZ, José Alves; SANTANA, José Rogério. *Dialogando sobre metodologia científica*. Fortaleza: Edições UFC, 2011.
- VERGARA, Sylvia Constant. *Gestão de pessoas*. 10. ed. São Paulo, 2011.
- OLIVEIRA, M. 2007. *Como fazer Pesquisa Qualitativa*. Petrópolis, RJ: Vozes.
- MORESI, E.A.D. *Apostila de metodologia da pesquisa*. Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2003.
- AMARAL, J. J. F. *Como fazer uma pesquisa bibliográfica*. Fortaleza, CE: Universidade Federal do Ceará, 2007