

METEORITOS MARCIANOS REALMENTE VIERAM DE MARTE?

MARTIAN METEORITES REALLY CAME FROM MARS?

Bruno Leonardo NASCIMENTO-DIAS

Universidade Federal de Juiz de Fora. Campus Universitário, Rua José Lourenço Kelmer, s/n - São Pedro, Juiz de Fora – MG.
E-mail: bruno.astrobio@gmail.com

Introdução
Determinação e identificação dos meteoritos marcianos
Classificação de meteoritos marcianos
 Shergotitos basálticos
 Shergotitos lherzolíticos
 Nakhlitos
 Chassigny (dunito)
 ALH84001 (ortopiroxenito)
Relações entre os meteoritos e o ambiente marciano
Conclusão
Referências

RESUMO - Os meteoritos marcianos, em sua maioria, são considerados rochas ígneas oriundas de materiais basálticos e ultramáficos de Marte. Atualmente, os meteoritos oriundos de Marte são divididos em 4 grupos (Shergottito, Nakhilito, Chassignito e Ortopiroxenito) de acordo com sua estrutura e composição química. Isto é importante, pois o agrupamento desses materiais facilita a buscar o possível ambiente do qual eles se originaram, ou em outras palavras, seria como saber a localização do “afloramento” e seu “contexto regional” para a geologia. Dessa forma, o objetivo principal aqui é desenvolver uma revisão ampla e sintetizada sobre os meteoritos SNC. Uma das justificativas é que em 2021, mais precisamente em fevereiro, chegará em Marte a Perseverance, que irá explorar um paleolago profundo de 250 m cerca de 3,9 bilhões a 3,5 bilhões de anos atrás. Sendo assim, este pode ser um momento oportuno para reunir conteúdo em português e avaliar criticamente o que sabemos e o que precisamos ainda aprender sobre Marte. Outra justificativa é que embora exista uma quantidade substancial de artigos em inglês sobre meteoritos SNC muitos deles estejam desatualizados e a literatura em português sobre SNC é escassa, praticamente inexistente. Assim, espera-se que este artigo possa ser utilizado como referência para alunos de graduação e pós-graduação, proporcionando informações relevantes para o desenvolvimento e aprendizagem da meteorítica, mais especificamente dos SNC, tal como fazer a difusão de seus conceitos para futuros trabalhos de iniciação científica, monografias, dissertações ou até mesmo teses.

Palavras-chave: SNC. Marte. Meteorítica.

ABSTRACT - Most Martian meteorites are considered igneous rocks originating from basaltic and ultramafic materials from Mars. Currently, meteorites from Mars are divided into 4 groups (Shergottite, Nakhlite, Chassignite and Orthopyroxene) according to their structure and chemical composition. This is important, since the grouping of these materials makes it easier to search for the possible environment from which they originated, or in other words, it would be like knowing the location of the "outcrop" and its "regional context" for geology. Thus, the main objective here is to develop a comprehensive and synthesized review of SNC meteorites. One of the justifications is that in 2021, more precisely in February, the Perseverance will arrive on Mars, which will explore a deep 250 m paleolake about 3.9 billion to 3.5 billion years ago. Therefore, this may be an opportune time to gather content in Portuguese and critically evaluate what we know and what we still need to learn about Mars. Another justification is that although there is a substantial number of articles in English on SNC meteorites, many of them are outdated and the Portuguese literature on SNC is scarce, practically nonexistent. Thus, it is hoped that this article can be used as a reference for undergraduate and graduate students, providing relevant information for the development and learning of meteoritic, more specifically from the SNC, as well as making the dissemination of its concepts for future works of scientific initiation, monographs, dissertations or even theses.

Keywords: SNC. Mars. Meteoritic.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, devido às diversas missões desenvolvidas, tanto em órbita quanto em solo marciano, o nosso conhecimento sobre a atmosfera e a estratigrafia de Marte tem se ampliado e aprimorado significativamente (Ehlmann & Edwards, 2014; Tanaka, 1986). Um marco recente no estudo de Marte é o reconhecimento de rochas marcianas, na forma de meteoritos SNC (Shergottito, Nakhilito, Chassignito), em nossas mãos por mais de um século, como por exemplo, o meteorito

Chassigny caiu em 1815 (Lorand et al., 2018; Lodders, 1998; Floran, 1978) e o Shergotty caiu em 1865 (Powell, 2017; Malavergne, 2001; Laul, 1986).

No que concerne esta temática de meteoritos marcianos, existem alguns artigos de revisão anterior e agora um tanto datados (Nyquist et al., 2001; McSween Jr, 1994; McSween, 1985; Wood & Ashwal, 1981) exploraram a possibilidade de que essas rochas pudessem ser usadas como registros de processos geológicos e

históricos marcianos. Vale salientar que os esforços para extrair informações planetárias desses meteoritos se tornaram muito mais sofisticados e bem-sucedidos (Nascimento-Dias et al., 2018; Wang et al., 2004; McKay et al., 1996.)

Em 2021, mais precisamente em fevereiro, chegou em Marte o Mars 2020, que é uma missão do Mars Exploration Program da NASA, que inclui o Perseverance rover e o Ingenuity que é uma espécie de drone. Esta missão irá explorar a cratera de Jezero, que os cientistas especulam ter sido um lago profundo de 250 m cerca com idade aproximada de 3,9 bilhões a 3,5 bilhões de anos atrás (Farley et al., 2020).

A cratera Jezero hoje apresenta um proeminente delta de rio onde a água que flui depositou muitos sedimentos ao longo das eras, o que é "extremamente bom na preservação de bioassinaturas" (Williford et al., 2020). Os sedimentos no delta provavelmente incluem carbonatos e sílica hidratada, conhecidos por preservar fósseis microscópicos na Terra por bilhões de anos (Goudge et al., 2018).

Destarte, este pode ser um momento oportuno para reunir conteúdo em português e avaliar criticamente o que sabemos e o que precisamos ainda aprender sobre Marte. Uma parte significativa dessa compilação e avaliação pode ser encontrada em inglês, conforme Tanaka et al.

DETERMINAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS METEORITOS MARCIANOS

As sugestões iniciais de que os meteoritos SNC eram rochas marcianas foram baseadas em suas idades de cristalização tardias (1,3 Ga-180 Ma) e a dificuldade de contabilizar a atividade ígnea em um corpo do tamanho de um asteroide que poderia ter este tipo de processo tão tardia na história do sistema solar (Nyquist, et al., 2001; Walker et al., 1979).

Uma relação aparente entre o tamanho do planeta e a duração do vulcanismo é ilustrada na figura 1, e sua explicação é baseada na capacidade de isolamento de grandes corpos que permite a retenção do calor produzido pela decomposição de radionuclídeos de longa vida. Claro, essa lógica argumenta apenas que os meteoritos SNC se formaram em um grande planeta, não especificamente em Marte.

Um ponto importante a ser levado em consideração é que os meteoritos marcianos possuem uma composição isotópica de Carbono (C), Nitrogênio (N), Oxigênio (O) e gases nobres diferentes dos outros meteoritos. De acordo com

(1992) e Tanaka (1986), em um resumo exaustivo da geologia marciana, geofísica e ciência atmosférica. No entanto, focar no que pode (ou não) ser aprendido com meteoritos SNC pode fornecer uma perspectiva diferente, além de complementar sobre Marte.

Esta revisão tenta consolidar e, mais importante, colocar em perspectiva geológica, uma quantidade considerável de informações sobre os meteoritos SNC. O objetivo principal é apresentar para iniciantes ou para leitores que já estejam envolvidos com a temática de meteorítica ou com pesquisas sobre Marte, o que são os SNC e o que pode ser aprendido e desenvolvido com essas amostras. Existe uma quantidade substancial de materiais e publicações em inglês sobre meteoritos SNC atualmente, embora muitas delas estejam desatualizadas (Nyquist, et al., 2001; McSween Jr, 1994; McSween, 1985; Wood & Ashwal, 1981). Sendo assim, não seria viável citar todos aqui. No entanto, a literatura em português sobre SNC é escassa, praticamente inexistente. Assim, o desenvolvimento será feito a partir de artigos de revisões sobre SNCs de diferentes épocas, coletando e separando as informações mais atualizadas e comparadas com artigos de "descobertas", pois estes ajudam a definir controvérsias e tendem a possuir informações mais recentes.

Bogard & Johnson (1983), a composição de gases encontrados na atmosfera marciana pelo espectrômetro de massa da sonda Viking em 1976 é idêntica, dentro da margem de erro, a composição isotópica de gases detectados em shergotitos. Trabalhos posteriores de Bogard et al. (1984); Becker & Pepin (1984) mostraram que uma variedade de componentes presos em meteoritos possuía abundâncias moleculares e composições isotópicas que combinavam com diversos gases da atmosfera de Marte (Figura 2).

De acordo com Wood & Ashwal (1982), análises realizadas acerca das crateras marcianas mostram que as correntes de lava na periferia dos vulcões Monte Olimpo e Tharsis têm entre 1,1 e 1,6 bilhões de anos. Com base nisso, os SNC poderiam ser amostras oriundas dessas regiões. Além disso, comparações dessas análises crateras com mapas fotogeológicos dos vulcões marcianos mostraram que nenhuma outra região de Marte é jovem o suficiente para ter originado os SNC. A cerca de 170 milhões de anos atrás, uma cratera de impacto

se formou na região, gerando os plagioclásios com uma intensidade suficientemente grande para transformá-los em masquelinita. Sendo assim, esse impacto pode ter ejetado as amostras de SNC para fora da superfície marciana.

Conforme McSween Jr. (1994), essas seriam evidência mais que convincente acerca da origem marciana dessas rochas. É importante frisar que a ideia de que os meteoritos SNC são rochas

marcianas se baseia em um bom número de observações. Além disso, sendo os meteoritos SNC as únicas amostras de Marte disponíveis na Terra, averiguar e analisar as propriedades presentes nesses materiais se torna uma tarefa fundamental. Resumidamente, isto auxilia na busca por respostas sobre que tipos de processos podem ter ocorrido durante a formação e a evolução do planeta vermelho.

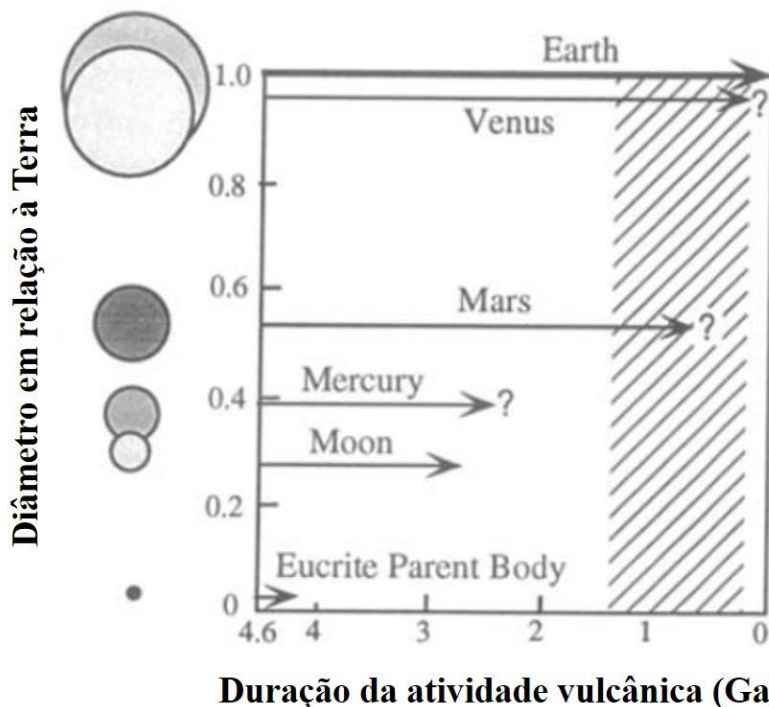


Figura 1 - Relação entre o tamanho do planeta e a duração da atividade ígnea. Fonte: McSween (1985).

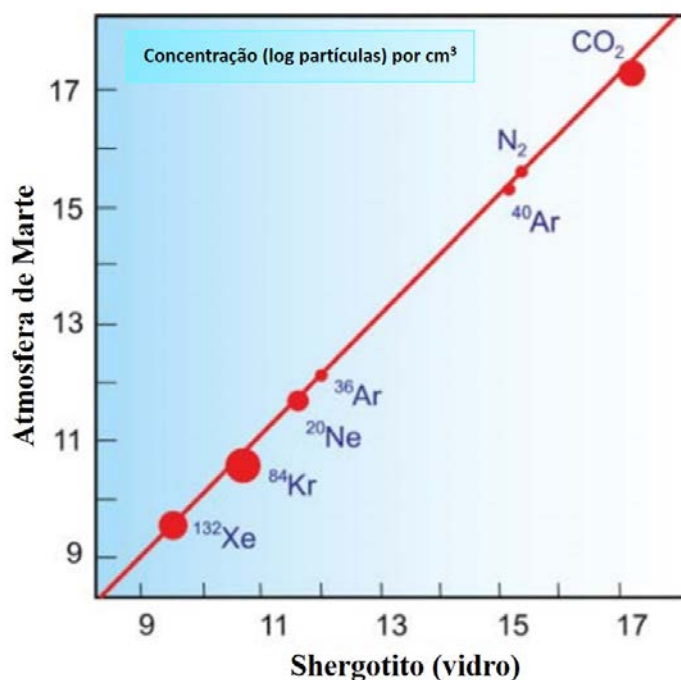


Figura 2 – Comparação da composição da atmosfera marciana ao nível do solo com gases retidos em vidro fundido em meteoritos marcianos. Legenda: Incertezas analíticas, principalmente nas medições atmosféricas da Viking, são indicadas pelos tamanhos dos pontos. Fonte: McSween (1994).

CLASSIFICAÇÃO DE METEORITOS MARCIANOS

Em geral, os meteoritos marcianos são divididos em 4 grandes grupos constituídos por Nakhilitos, Chassignitos, Ortopiroxênitos e os Shergotitos que subdividi-se em 2 sub-grupos, um basáltico e um de lherzolítico (Mcsween, 1994; Meyer, 1998) (Figura 3).

Os meteoritos marcianos, em sua maioria, são considerados rochas ígneas oriundas de materiais basálticos e ultramáficos de Marte. Aparentemente, foram cristalizados em fluxos de lava como rochas vulcânicas ou máficas (Nyquist, et al., 2001; McSween Jr, 1994). Posteriormente, será brevemente detalhado cada um dos grupos de meteoritos marcianos.

Shergotitos Basálticos

Os shergotitos basálticos são constituídos, em sua maioria, por clinopiroxênios, orientados de forma irregular na direção de uma borda rica em ferro (Filiberto et al., 2018; Stolper & Mcsween,

1979). Em geral, nesses meteoritos é comum encontrar nos piroxênios, pequenas quantidades de plagioclásios em forma de masquelinita, inclusões e outros minerais mesostáticos. Segundo Nyquist et al. (2001), comparados aos basaltos terrestres, os shergottitos basálticos são caracterizados por uma alta razão de $Fe/(Fe + Mg)$ e baixa concentração de Al_2O_3 . Todos os meteoritos desse grupo têm padrões complexos de elementos de terra rara, com deficiências distintas de elementos leves de terra rara e, com exceção da água, existe uma quantidade abundante de elementos voláteis (Jakosky, 2021 Hu et al., 2020; Nascimento-Dias, 2018). Composições isotópicas iniciais de Sr, Nd e Pb são variáveis entre os shergotitos basálticos, possivelmente refletindo diferentes fases da reação entre a crosta marciana e magma isotopicamente homogêneo.

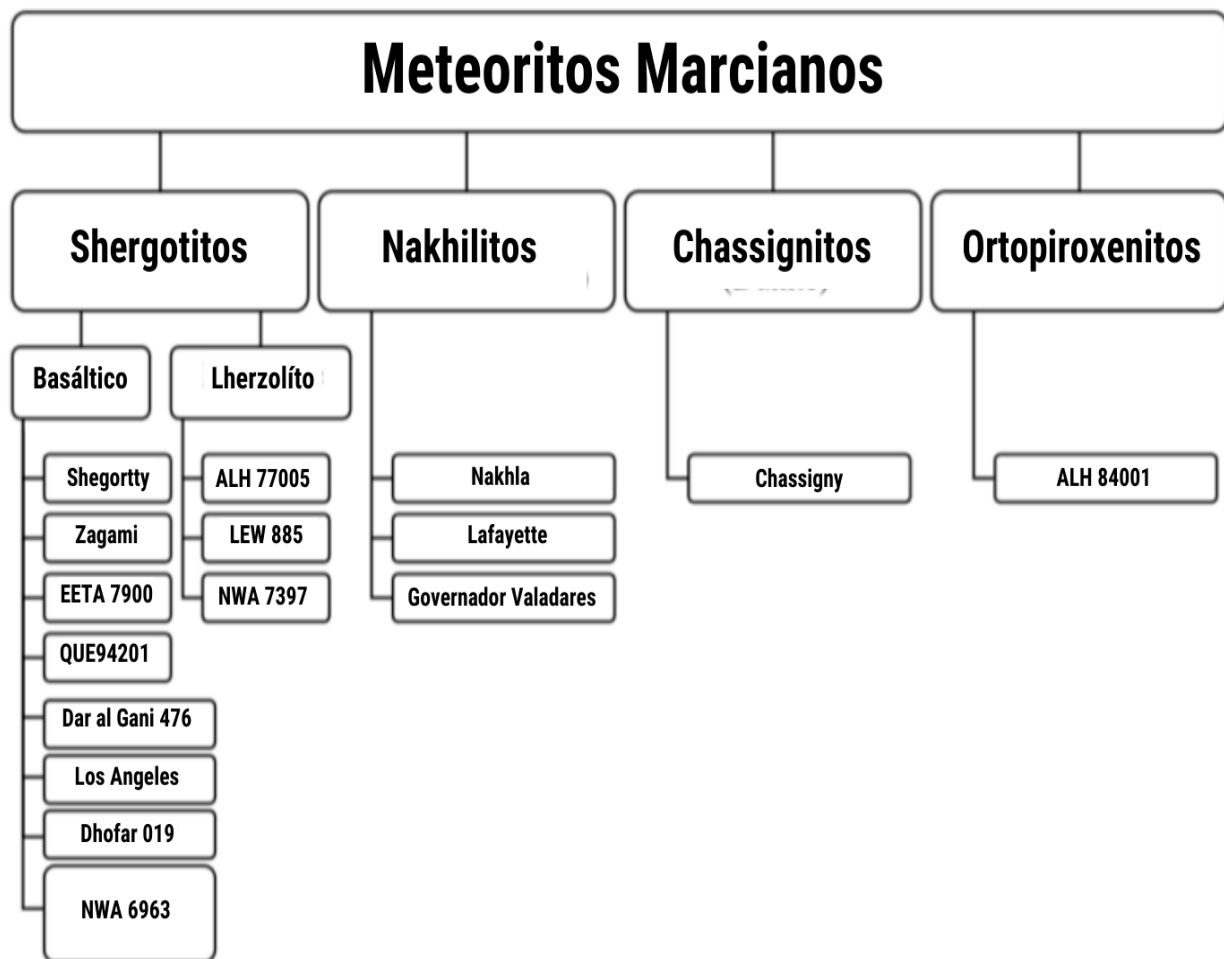


Figura 3 – Classificação de meteoritos marcianos. Fonte: Nyquist et al. (2001).

Em relação à granulometria das rochas pertencentes a esse grupo composta, geralmente, por grãos pequenos e finos (Mcsween, 1994). O tamanho relativamente pequeno dos grãos dos

piroxênios, de acordo com Stolper & McSween (1979), sugere que o alinhamento deve ter ocorrido por meio do fluxo da lava, e não por acumulação na câmara magmática abaixo da

superfície. No entanto, existem casos interessantes, como o meteorito marciano Shergotty. Embora alguns autores tenham concluído que a granulação do Shergotty é significativamente mais grossa do que a maioria dos shergotitos basálticos, por exemplo, o Zagami, ambos pertencem ao mesmo grupo (Nyquist, 2001).

No grupo dos shergotitos basálticos ainda existem casos como o meteorito EET79001, que possui duas diferentes litologias, que são chamadas de “A” e “B”, unidas por um contato plano e sem brechas.

Elas são similares entre si e aos demais shergotitos basálticos em termos de mineralogia. Porém, diferem entre si no tamanho de seus grãos, sendo a granulação da litologia B mais grossa, em relação à litologia A. Segundo Mittlefehldt & Lindstrom (1997), a grande diferença entre essas

unidades seria devido a presença de xenocristais de olivina, ortopiroxênio e cromita na litologia A cuja formação pode ter acontecido por meio de uma fusão de impacto. Isso demonstra que não existe contradição entre Zagami e Shergotty, mas um processo natural que precisa ser melhor compreendido e desvendado.

De acordo com Stolper & McSween (1979) e Chen (2019), uma via possível de evolução mineralógica seria através de um cenário em que se iniciaria com a cristalização dos grãos de clinopiroxênios e sua concentração em meio ao magma. Em seguida, ocorre a cristalização dos piroxênios, ao redor dos grãos de plagioclásios, que ocorre de forma intersticial. Por fim, o magma remanescente continuaria a se cristalizar, formando os minerais como magnetita, ilmenita e materiais mesostáticos (Figura 4).

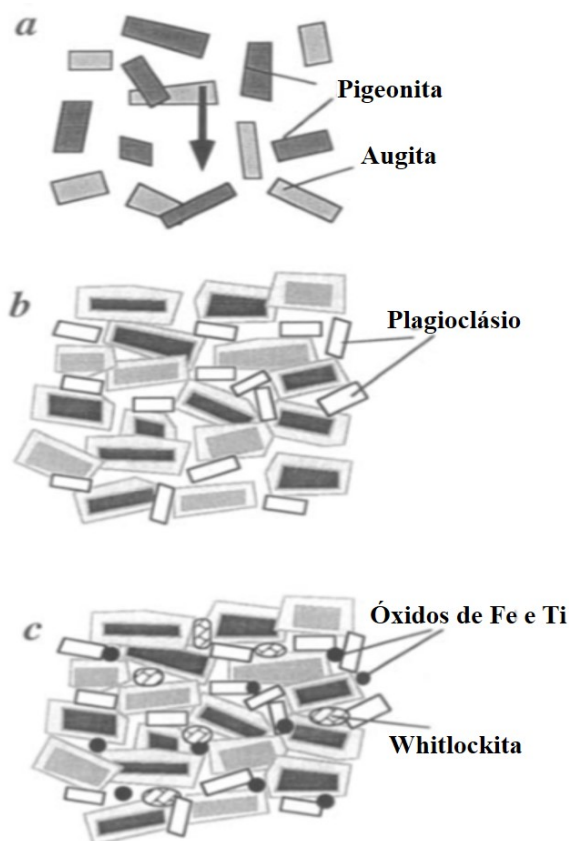


Figura 4 – História de cristalização esquemática de shergotites basálticos. Fonte: McSween (1994).

Shergotitos lherzolíticos

Os shergotitos lherzolíticos são majoritariamente constituídos por olivinas de granulação média e por cromitas localizadas no interior de grandes cristais de ortopiroxênios. Essas olivinas são extremamente ricas em ferro por estarem em equilíbrio com os ortopiroxênios coexistentes. Além disso, nos lherzolíticos também há masquelinita, clinopiroxênios e outros minerais compondo os espaços entre os principais

constituintes dessas rochas extraterrestres (McSween, 1994).

De acordo com Stolper e McSween (1979) e Nyquist et al. (2001), a cristalização dos shergotitos lherzolíticos provavelmente teve início com a cristalização das olivinas, cromitas e de alguns ortopiroxênios em baixa. Em seguida, estruturas de cristalização abertas formadas por esses minerais permitiram a acumulação de outros cristais e o acesso de magma em seu interior, o

que culminou na cristalização de grandes ortopiroxênios. Conforme os piroxênios e plagioclásios cristalizam-se nos espaços intersticiais, os espaços iam sendo preenchidos e se fechando. E, por fim, os líquidos remanescentes cristalizaram-se e reagiram com os minerais.

Assim, como os shergotitos basálticos, os lherzolíticos são rochas deficientes em elementos leves de terra-rara. Os isótopos radiogênicos de alguns dos meteoritos desse grupo são consistentes com a cristalização destas rochas no mesmo magma, que é semelhante em termos de elementos de terra-rara e composição isotópica ao shergotito basáltico EET79001, mas diferente com relação ao Shergotty e ao Zagami.

Nakhlitos

Os nakhlitos possuem sua formação estrutural composta por piroxênios ricos em magnésio com pequenas quantidades de olivinas ricas em ferro dispostas em uma mesostáse microcristalina. A mesostáse é constituída por pigeonita, ferroaugita, plagioclásios, feldspatos alcalinos. A história do resfriamento desse grupo de meteoritos marcianos é consistente com um modelo de crescimento de cristalização que tenha ocorrido ainda na sub-superfície, a partir de um resfriamento em torno de 1 a 5 anos aproximadamente. A cristalização dos nakhlitos provavelmente começou com grãos de piroxênios e olivina, seguida da formação de uma estrutura de cumulos. Esses cumulos são agrupamentos de olivinas e piroxênios com o líquido magmático. Por fim, o processo final de cristalização teria os líquidos remanescentes e sua reagindo com os

RELAÇÕES ENTRE OS METEORITOS E O AMBIENTE MARCIANO

Há tempos, busca-se a localização dos terrenos marcianos que podem ter idade apropriada que coincida com a época de ejeção dos meteoritos SNC. Esse interesse está ligado à tentativa de saber quais regiões em Marte poderiam ter sido o sítio proveniente desses materiais.

De acordo com Singer & McSween (1993), os shergotitos basálticos poderiam ser tipos comuns de lava na superfície marciana. As texturas dos shergotitos basálticos, segundo Nyquist et al. (2001), em geral são consistentes com as texturas esperadas para fluxos de lava basáltica na superfície.

No entanto, o shergotito basáltico Zagami aparenta ter um processo de cristalização em duas etapas. De acordo com McCoy et al. (1992), primeira teria ocorrido em uma câmara magmática

demais minerais (McSween, 1994; Nyquist et al., 2001).

Chassigny (Dunito)

Meteoritos dessa classe possuem olivina rica em ferro, em pequenas quantidades de pigeonita, augita, feldspato, cromita e ilmenita. Particularmente, nesse grupo a cromita chama a atenção por ter em sua constituição o Fe³⁺. Essa característica indica que o material passou por condições oxidativas. Embora as olivinas não apresentem uma orientação preferida, a textura e abundância desses minerais indicam que esse meteorito é um cumulo. A cristalização de ortopiroxênios e clinopiroxênios, nesse grupo parece ter uma ligação forte entre os chassignitos e os shergotitos. Porém, tal como os nakhlitos, os meteoritos chassignitos são ricos em elementos de terra-rara (Lorand et al., 2018; McSween, 1985; Wood & Ashwal, 1981)

ALH84001 (Ortopiroxenito)

O ALH840001 é um ortopiroxenito cataclástico de granulometria grossa. A sua composição mineralógica é formada por cromitas, e, em suas regiões cataclásticas, há plagioclásio, ortopiroxênio, apatita e pirita. Análises posteriores identificaram também olivinas e carbonatos em pequenas quantidades. Sua composição mineralógica é similar à dos shergotitos lherzolíticos e dos nakhlitos, e o fato da olivina estar presente sugere uma ligação mais próxima a esses meteoritos (McSween, 1994). Porém, segundo Mittlefehldt (1994), ALH84001 seria um membro único das amostras de Marte, e a elucidação de sua idade poderá fortalecer essa afirmação.

de esfriamento lento, já que a presença de anfíbólio nos núcleos dos cristais de piroxênios requer pressões que são encontradas em profundidades maiores que 7,5 km em Marte. Durante a segunda etapa do processo, os cristais de piroxênios deveriam estar entranhados em um magma que ou se esfriou próximo da superfície em um dique relativamente fino, ou foi para a superfície e cristalizou-se em um fluxo de lava com espessura maior que 10 m.

Aparentemente, essas observações para a cristalização do Zagami são consistentes com as estruturas e fluxos encontrados na região de Tharsis em Marte. Em geral, de acordo com McSween (1994), existe um consenso de que a região de Tharsis, na figura 5, seria o único terreno jovem o suficiente para ter dado origem

aos SNC mais recentes. Porém, segundo Singer et al. (1990), até o momento não foi detectada

nenhuma região similar ao grupo dos nakhlitos na superfície de Marte.

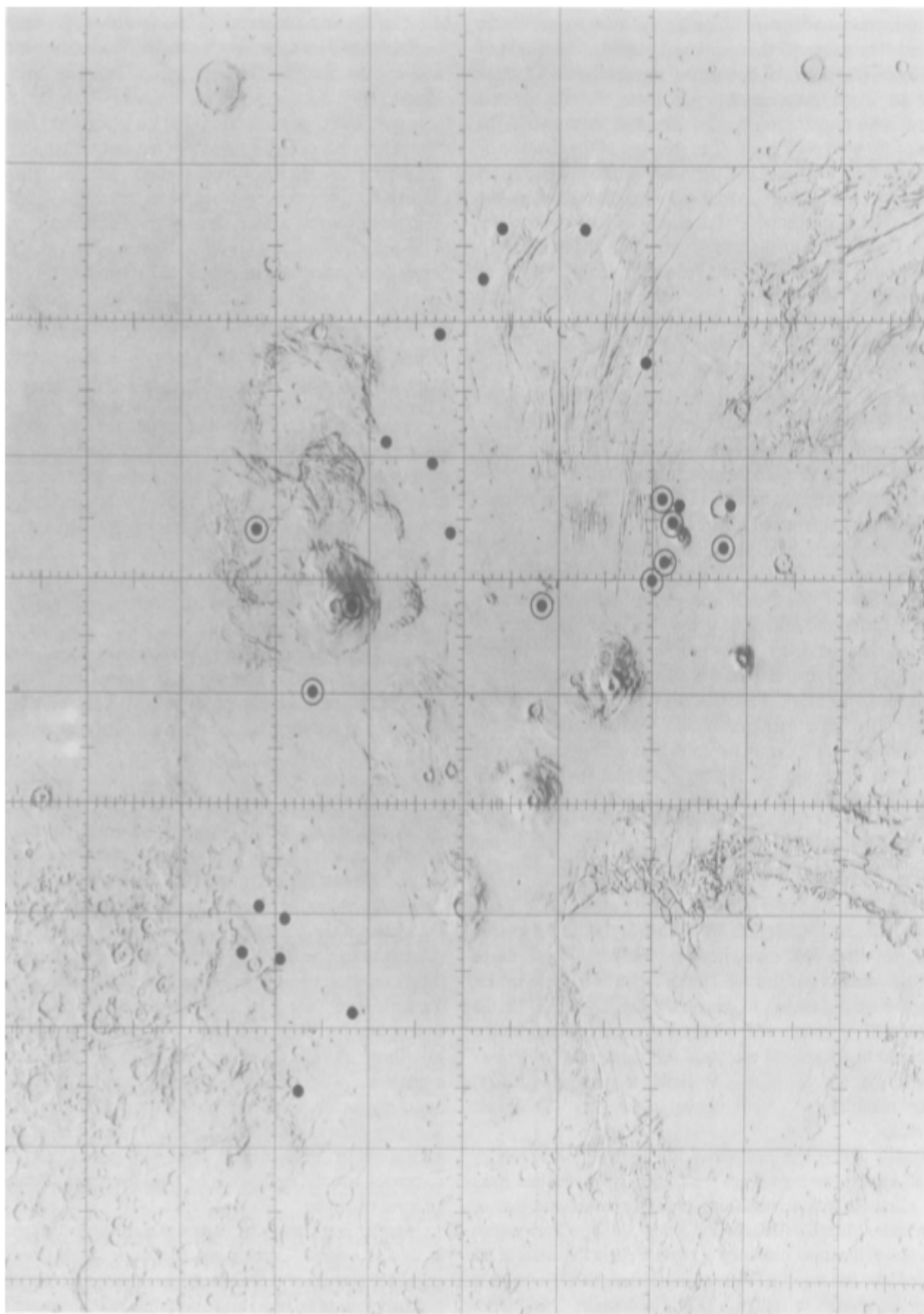


Figura 5 – Mapa marciano da região de Tharsis mostrando as localizações (indicadas por pontos) de crateras candidatas para os meteoritos de 1.3 Ga a 180 Ma SNC, após Mougini-Mark et al. (1992). As crateras mais plausíveis para amostragem de shergotitos mais jovens são indicadas por pontos circulados.

Em resposta a isso, McSween (1994) sugere a possibilidade de esses materiais estarem limitados às exposições erosivas ou tectônicas da sub-superfície. Esse argumento aparenta ser viável, pois é importante lembrar que não é

esperado que nenhum dos meteoritos cuja origem seja, de origem plutônica, seja encontrada comumente na crosta do planeta.

Além disso, vale salientar que conforme Wilson & Parfitt (1989), as características

eruptivas estão condicionadas à reologia do magma, gravidade e pressão atmosféricas. Destarte, temos que a densidade do magma afeta sua habilidade para chegar à superfície e sua diferenciação por cristalização fracionada. Ademais, devido à baixa gravidade que o planeta Marte apresenta, a velocidade de ascensão do magma se reduz e segundo Wilson & Head (1988), dariam origem a grandes reservatórios magmáticos na sub-superfície. Apenas a título de curiosidade as densidades para os magmas que, possivelmente, deram origem aos SNC foram calculadas:

- Shergotitos basálticos entre 2.75 e 2.83 g/cm³;
- Nakhla aproximadamente 2.92 g/cm³;
- Chassigny aproximadamente 2.79 g/cm³

Esses cálculos foram realizados por Longhi (1991) e complementadas posteriormente por Harvey & McSween (1992). No geral, os magmas dos SNC são considerados mais densos que os basaltos terrestres e um pouco menos densos que os basaltos lunares.

Com base em todas essas questões, posteriormente, passou-se a serem realizadas análises em crateras marcianas formadas por impacto oblíquo (Melosh, 1984, 1985). O intuito dessas análises é dar suporte a um modelo, no

qual as rochas marcianas poderiam ter sido arrancadas por um impacto oblíquo de um grande corpo (Nyquist, 1983). Foram priorizadas crateras cujas morfologias indicassem ter menos de 180 milhões de anos. Entre 25 crateras identificadas na região de Tharsis, apenas 9 delas parecem ser jovens o suficiente para terem originado os shergotitos. Também foi constatado que nenhuma dessas crateras poderia ter originado, simultaneamente, fragmentos com idades de 1,3 bilhões de anos e de 180 milhões de anos. Este é um ponto crucial, o qual se apresenta ser contrário à ideia de que todos os SNC foram originados por um mesmo impacto.

Por fim, é importante ressaltar que essas análises não levam em conta questões de camadas estratigráficas, ou seja, de que as amostras de idades diferentes podem ter se originado de profundidades diferentes. Todavia, McSween (1994) relata que a maioria dos tipos de impacto que ocorreram em Marte, provavelmente, ejetaram apenas rochas próximas à superfície. Além disso, até o momento nenhuma das crateras estudadas estavam próximas de ter mais do que 100 km de diâmetro, tamanho favorecido por estudos dinâmicos acerca da ejeção dos SNC (Nyquist et al., 2001; Mcsween, 1994).

CONCLUSÃO

Em geral, áreas como a Geologia, Ciências Planetárias, Meteorítica e Astrobiologia, por vezes, precisam e utilizam informações de rochas extraterrestres como meio para desenvolvimento de pesquisas.

Embora nosso conhecimento esteja aumentando a cada dia por conta dos diversos avanços tecnológicos e científicos, o *gap* entre o que se conhece e o desconhecido ainda é muito grande na área de meteorítica. No Brasil a área de meteorítica para geólogos é pouco difundida e poucos são os geólogos que trabalham no desenvolvimento de pesquisas relacionadas à meteoritos, assim como com estudos sobre geologia de Marte.

Sobre os meteoritos SNC, em geral basaltos e rochas ultramáficas, demonstram poder fornecer informações e *insights* sobre a evolução e propriedades geológicas e atmosféricas do planeta Marte. Porém, ainda existem muitas questões em aberto, tais como:

- Os meteoritos SNC fornecem uma amostra representativa de materiais crustais

formados recentemente e como sua mineralogia se relaciona com o espectro marciano e a diversidade petrológica global?

- Os meteoritos SNC podem ser usados para restringir mais fortemente a mineralogia do manto marciano?

- A aparente superamostragem de unidades geológicas jovens resulta de mais de um evento de impacto? A(s) cratera(s) de origem dos meteoritos SNC podem ser identificadas?

Vale salientar que embora a região de Tharsis pareça conter um ambiente geológico suficientemente jovem e propício para as condições que se assemelhariam com um ambiente de ejeção dos SNCs, ainda não é possível atribuir com total certeza que seria este o local de origem destas rochas. Outro ponto relevante está relacionado à química dos SNCs, que se ajusta com os isótopos obtidos de Marte através de diferentes missões exploratórias.

Ao longo deste trabalho foram apresentadas as principais classificações de meteoritos marcianos. Foi possível observar que algumas classes

apresentam similaridades químicas e mineralógicas, sendo assim, estes meteoritos agrupados nos grupos: Shergotito, Nakhilito, Chassignito ou Ortopiroxênito. Com base nessas constatações também foi possível ver que cada grupo pode ter uma informação mineralógica associada ao seu ambiente regional de formação.

Por fim, espera-se que este artigo possa ser utilizado como referência para alunos de graduação e pós-graduação, principalmente, por

aqueles que estejam mexendo pela primeira vez com pesquisas dentro dessas finalidades. Este é um trabalho de revisão sintetizada do conteúdo sobre meteoritos marcianos que busca proporcionar informações relevantes para o desenvolvimento e aprendizagem da meteorítica, mais especificamente dos SNC, tal como fazer a difusão de seus conceitos para futuros trabalhos de iniciação científica, monografias, dissertações ou até mesmo teses.

REFERÊNCIAS

- BECKER, R. H. & PEPIN, R. O. The case for a Martian origin of the shergottites: Nitrogen and noble gases in EETA 79001. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 69, n. 2, p. 225-242, 1984.
- BOGARD, D.D.; NYQUIST, L.E.; JOHNSON, P. Noble gas contents of shergottites and implications for the Martian origin of SNC meteorites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 48, n. 9, p. 1723-1739, 1984.
- BOGARD, D. & JOHNSON, P. Martian gases in an Antarctic meteorite? **Science**, v. 221, n. 4611, p. 651-654, 1983.
- CHEN, DE-L.; CHANG, AI-L.; PANG, RUN-L.; CHEN, JIA-N; LI, Y. Shock-induced phase transformation of anorthitic plagioclase in the eucrite meteorite Northwest Africa 2650. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 54, n. 7, p. 1548-1562, 2019.
- EHLMANN, B.L. & EDWARDS, C.S. Mineralogy of the Martian surface. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 42, 2014.
- FARLEY, K.A.; WILFORTH, K.H.; WIENS, R. STACK, K.M.; BHARTIA, R.; CHEN, A.; TORRE M.; HAND, K.; GOREVA, Y.; HERD, C.D.K.; HUESO, R.; LIU, Y.; MAKI, J.N.; ALEMÃO, M.; MOELLER, R.C.; NELESSEN, A.; NEWMAN, C.E.; NUNES, D.; PONCE, A.; NICOLE SPANOVICH, N.; WILLIS, P.A.; LUTHER W. BEEGLE, L. W.; BELL, I, J.F.; BROWN, A.J.; HAMRAN, S.; HUROWITZ, J.A.; MAURICE, S.; PAIGE, D.A.; RODRIGUEZ-MANFREDI, J.A.; MITCH SCHULT, M.E.; ROGER C. WIENS, R.C. Mars 2020 mission overview. **Space Science Reviews**, v. 216, n. 8, p. 1-41, 2020.
- FILIBERTO, J.; GROSS, J., UDRY, A.; TRELA, J.; WITTMANN, A.; CANNON, K. M.; FERRÉ, E.C. Shergottite Northwest Africa 6963: A Pyroxene-Cumulate Martian Gabbro. **Journal of Geophysical Research: Planets**, v. 123, n. 7, p. 1823-1841, 2018.
- FLORAN, R.J.; PRINZ, M.; HLAVA, P.F.; KEIL, K.; NEHRU, C.E.; HINTHORNE, J.R. The Chassigny meteorite: A cumulate dunite with hydrous amphibole-bearing melt inclusions. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 42, n. 8, p. 1213-1229, 1978.
- GOUDGE, T.A.; MOHRIG, D.; CARDENAS, B.T.; HUGHES, C.M.; FASSETT, C.I. Stratigraphy and paleohydrology of delta channel deposits, Jezero crater, Mars. **Icarus**, v. 301, p. 58-75, 2018.
- HARVEY, R. P. & MCSWEEN H.Y. JR. Petrogenesis of the nakhilites: Evidence from cumulate mineral zoning. **Geochim. Cosmochim. Acta**, v. 56, p. 1655-1663, 1992.
- HU, S.; LIN, Y.; ZHANG, J.; HAO, J.; YAMAGUCHI, A.; ZHANG, T.; YANG, W.; CHANGELA, H. Volatiles in the martian crust and mantle: Clues from the NWA 6162 shergottite. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 530, p. 115902, 2020.
- JAKOSKY, B.M. Atmospheric Loss to Space and the History of Water on Mars. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 49, 2021.
- LAUL, J. C. The Shergotty consortium and SNC meteorites: An overview. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 50, n. 6, p. 875-887, 1986.
- LODDERS, K. A survey of shergottite, nakhilite and chassigny meteorites whole-rock compositions. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 33, n. S4, p. A183-A190, 1998.
- LONGHI, J. Complex magmatic processes on Mars: Inferences from the SNC meteorites. **Proc. Lunar Planet. Sci. Conf.** 21st, p. 695-709, 1991.
- LORAND, J.P.; PONT, S.; CHEVRIER, V.; LUGUET, A.; ZANDA, B.; HEWINS, R. Petrogenesis of martian sulfides in the Chassigny meteorite. **American Mineralogist**, v. 103, n. 6, p. 872-885, 2018.
- MALAVERGNE, Valérie et al. Description of new shock-induced phases in the Shergotty, Zagami, Nakhla and Chassigny meteorites. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 36, n. 10, p. 1297-1305, 2001.
- MCCOY, T.J.; TAYLOR, G.J.; KEIL, K. Zagami: Product of a two-stage magmatic history. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 56, n. 9, p. 3571-3582, 1992.
- MCKAY, D.S.; GIBSON, E.K.; THOMAS-KEPRTA, K.L.; VALI, H.; ROMANEK, C.S.; CLEMETT, S.J.; CHILLIER, X.D.F.; MAECHING, C.R.; ZARE, R.N. Search for past life on Mars: possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH84001. **Science**, v. 273, n. 5277, p. 924-930, 1996.
- MCSWEEN JR, H.Y. SNC meteorites: Clues to Martian petrologic evolution?. **Reviews of Geophysics**, v. 23, n. 4, p. 391-416, 1985.
- MCSWEEN JR, H.Y. What we have learned about Mars from SNC meteorites. **Meteoritics**, v. 29, n. 6, p. 757-779, 1994.
- MELOSH, H.J. Impact ejection, spallation, and the origin of meteorites. **Icarus**, v. 59, p. 234-260, 1984.
- MELOSH, H.J. Ejection of rock fragments from planetary bodies. **Geology**, v. 13, p. 144-148, 1985.
- MITTFEHLDT, D.W. ALH84001, a cumulate orthopyroxenite member of the Martian meteorite clan. **Meteoritics**, v. 29, n. 2, p. 214-221, 1994.
- MITTFEHLDT, D.W. & LINDSTROM, Marilyn M. Magnesian basalt clasts from the EET 92014 and Kapoeta howardites and a discussion of alleged primary magnesian HED basalts. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 61, n. 2, p. 453-462, 1997.
- MOUGINIS-MARK, P.J., McCoy, T. J.; TAYLOR G.J.; KEN, K. Martian parent craters for the SNC meteorites. **J. Geophys. Res.** 97 EQ, 10.2 13-10.225, 1992
- NASCIMENTO-DIAS, B.L. Combination between Ca, P and Y in the Martian Meteorite NWA 6963 could be used as a strategy to indicate liquid water reservoirs on ancient Mars?. **International Journal of Astrobiology**, p. 1-6, 2018.
- NASCIMENTO-DIAS, B.L.; OLIVEIRA, D.F.; MACHADO, A.S.; LOPES, R.T.; Dos ANJOS, M.J. Utilization of nondestructive techniques for analysis of the Martian meteorite NWA 6963 and its implications for astrobiology. **X-Ray Spectrometry**, v. 47, n. 1, p. 86-91, 2018.
- NYQUIST L. E. Do oblique impacts produce martian meteorites? **J. Geophys. Res.** 88 (suppl.), A785SA798, 1983.

- NYQUIST, L.E.; BOGARD, D.D.; GRESHAKE, A., STOFFLER, D.; EUGSTER, O. Ages and geologic histories of Martian meteorites. In: **Chronology and evolution of Mars**. Springer, Dordrecht, 2001. p. 105-164.
- POWELL, Jonathan. Meteors and Meteorites. In: **Cosmic Debris**. Springer, Cham, 2017. p. 95-107.
- SINGER, R.B. & MCSWEEN, H. Y., JR. The igneous crust of Mars: Compositional evidence & remote sensing and the SNC meteorites. In: **Resources of Near-Earth Space** (eds. J.S. LEWIS, M.S.; MATTHEWS; M.M.L. GUERRIERI), p. 709-736. UNv. Arizona Press, Tucson, Arizona (1993)
- SINGER R.B.; MILLER, J.S.; WILSON W.K. Observed variation in martian crustal composition. **Bull. Amer. Astron. Soc.** V. 22, p. 1061, 1990.
- STOLPER, E. & MCSWEEN JR, H.Y. Petrology and origin of the shergottite meteorites. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 43, n. 9, p. 1475-1498, 1979.
- TANAKA, K.L. The stratigraphy of Mars. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 91, n. B13, p. E139-E158, 1986.
- TANAKA, K.L.; SCOTT, D.H.; GREELEY, R. **Global stratigraphy**. Mars, p. 345-382, 1992.
- WALKER, D.; STOLPER, E. M.; HAYS, J. F. Basaltic volcanism: The importance of planet size. **Proc. Lunar Planet. Sci. Conf: loth**, 1995-2015, 1979.
- WANG, A.; KUEBLER, K.; JOLLIFF, B.; HASKIN, L.A. Mineralogy of a Martian meteorite as determined by Raman spectroscopy. **Journal of Raman Spectroscopy**, v. 35, n. 6, p. 504-514, 2004.
- WILLIFORD, K.H.; FARLEY, K.A.; STACK, K.M.; ALLWOOD, A.C.; BEATY, D.; BEEGLE, L.W.; BHARTIA, R.; BROWN, A.J.; TORRE JUAREZ, M.; HAMRAN, V.E.; HECHT, M.H.; HUROWITZ, J.A.; JOSE A. RODRIGUEZ-MANFREDI, J.; MILKOVICH, M.S.; WIENS, R.C. The NASA Mars 2020 rover mission and the search for extraterrestrial life. In: **From Habitability to Life on Mars**. Elsevier, p. 275-308, 2018.
- WILSON, L. & HEAD, J.W. Natureza das zonas locais de armazenamento de magma e geometria dos sistemas de conduites abaixo dos locais de erupção basáltica: Pu'u 'O'o, fenda leste de Kilauea, Havaí, exemplo. **J. Geophys. Res.**, v. 93, p. 14.785-14.792, 1988.
- WILSON, L. & PARFITT, E.K. The influence of gravity of planetary volcanic eruption rates: A reappraisal (abstract). **Lunar Planet. Sci.** v. 20, p. 1213-1214, 1989.
- WOOD, C.A. & ASHWAL, L.D. **SNC meteorites: Igneous rocks from Mars?** Pergamon Press, 1981.

Submetido em 27 de janeiro de 2021

Aceito para publicação em 3 de setembro de 2021