

Introdução aos aspectos geológicos do planeta Marte: implicações para a possibilidade de colonização humana

Gisllayne Roque Silvestre

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Resumo

O presente artigo foi realizado a partir de compilação de dados pré-existentes na literatura nacional e internacional e tem como objetivo analisar e discutir as condições geológicas do planeta Marte e o seu potencial para colonização humana, trazendo informações de estudos realizados principalmente pelas sondas enviadas a Marte, realizando o mapeamento de forma geral e através de análises in situ das rochas e solos. Com base nisso, foi realizado uma planetologia comparada, entre Terra e Marte, principalmente em se tratando das análise das estruturas geológicas presentes em ambos os planetas, para determinar se houve ou possa existir água em Marte, recurso essencial para a habitação de seres humanos. Além disso, problemáticas como a ausência de um campo magnético, que pode prejudicar qualquer ser vivo devido a alta radiação solar pela qual o mesmo se encontra exposto; e das imensas tempestades de poeira, que ameaçam devastar estruturas e persistirem por semanas, fazem com que habitar Marte se torne arriscado. Foi possível determinar esses principais fatores que impedem a colonização do Planeta Vermelho, analisado as informações obtidas por sondas enviadas pela Agência Espacial Americana (NASA) e pela Agência Espacial Europeia (ESA) e propondo ideias que podem ser capazes de tornar possível a colonização marciana, como a criação de um efeito estufa, impedindo o aumento das tempestades de poeira e da inserção de uma magnetosfera artificial. Esta última se mostra como sendo a principal solução para as problemáticas abordadas. E com a criação de uma magnetosfera, possibilita que Marte fique mais similar com a Terra e mais confortável no que diz respeito à colonização, com a mais avançada tecnologia criada pelo homem até então e por maiores estudos acerca do planeta.

Abstract

This article was carried out from the compilation of pre-existing data in national and international literature and aims to analyze and discuss the geological conditions of the planet Mars and its potential for human colonization, bringing information from studies carried out mainly by probes sent to Mars, mapping in general and through in situ analysis of rocks and soils. Based on this, a comparative planetology was carried out between Earth and Mars, mainly in terms of the analysis of the geological structures present on both planets, to determine whether there was or could be water on Mars, an essential resource for the habitation of human beings. Also problematic such as the absence of a magnetic field, which can harm any living being due to the high solar radiation to which it is exposed; and the immense dust storms, which threaten to devastate structures and persist for weeks, make inhabiting Mars risky. It was possible to determine these main factors preventing the colonization of the Red Planet, analyzed as basic information by probes made by the American Space Agency (NASA) and the European Space Agency (ESA) and proposing ideas that may be able to make the colonization of Mars possible, such as creating a greenhouse effect, preventing the increase in dust storms and the placement of an artificial magnetosphere. The latter is shown to be the main solution to the problems addressed. And with the creation of a magnetosphere, it makes it possible for Mars to become more similar to Earth and more comfortable with regard to colonization, with the most advanced technology created by man so far and with further studies about the planet.

Palavras-chave: geologia de Marte, planetologia comparada, colonização.

Keywords: Mars geology, comparative planetology, colonization.

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v4n1.39690](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v4n1.39690)

1 Introdução

A partir da metade do século XIX iniciaram os estudos com mais detalhes do planeta Marte. O

astrônomo americano Percival Lowell, em 1855, observou a existência de sulcos em Marte, acreditando que talvez essas características fossem criadas artificialmente por marcianos, mas conforme

o avanço da tecnologia, a observação por parte dos astrônomos era de que aquelas feições se tratavam apenas de descontinuidades naturais. A partir desta crença, surgiram os questionamentos sobre a possibilidade dos seres humanos habitarem Marte.

Somente na segunda metade do século XX, que a ideia de colonização do Planeta Vermelho foi sendo discutida, mesmo sabendo que não haviam características importantes e capazes de tornar possível a sobrevivência de seres humanos assim como na Terra. Para isso, é necessário pensarmos em uma forma de fazer com que Marte apresente características favoráveis para a sobrevivência humana e atualmente isso é algo que vem sendo questionado, devido a maiores quantidades de dados obtidos pelas sondas enviadas a Marte, tais como os *landers*, *rovers* e orbitadores, auxiliando nos estudos do planeta, além de maiores avanços tecnológicos.

Um objetivo na colonização é ter um segundo planeta como refúgio caso a Terra venha apresentar riscos de extinção em massa, já que desde o surgimento da vida simples (organismos procariotes) no Éon Arqueano, a Terra sempre conviveu com esses eventos. A busca pelo conhecimento do planeta Marte é importante para entender como a Terra poderá se comportar em um futuro muito distante. Fazendo a planetologia comparada entre a Terra atual e Marte, podemos observar registros geológicos que podem indicar a atuação de fenômenos e processos similares aos que regem a dinâmica da Terra. Um outro objetivo talvez esteja voltado na própria exploração dos recursos minerais de Marte, sendo essencial o estudo de diversas áreas como biologia, química, física, meteorologia e geologia. Contudo, nota-se que a colonização marciana não seria algo impossível, mas com uma possibilidade relativamente distante.

2 Sondas exploratórias

Desde que Marte era observado apenas a olho nu, era visto pelas pessoas apenas como um ponto vermelho brilhante no céu, ou então, as observações por telescópios não apresentavam detalhes tão precisos da geologia e atmosfera do planeta, não se tendo ideia como poderia ser seu passado. Atualmente foi descoberto que se tratava de um planeta mais ativo, assim como na Terra, apresentando água e um campo magnético global [1].

De acordo com [2], foi por volta da segunda metade do século XX, na década de 1960, que começaram as missões a Marte. Foi possível a realização de estudo mais detalhados acerca do planeta e conforme o número de sondas foram aterrissando no solo marciano e orbitando-o, foi sendo descoberta as características do passado de Marte: um planeta desértico e frio, no passado era quente e úmido.

Apesar de todas as sondas enviadas terem sido importantes em se tratando no avanço nas descobertas e estudos do Planeta Vermelho, foi principalmente através das sondas das missões: *Martiner*, *Vikings*, *Mars Pathfinder*, *Mars Express*, *Spirit*, *Curiosity* e a *Mars Global Surveyor*, que foram obtidos maiores dados acerca do planeta.

A *Mars Pathfinder* (1997) foi uma missão aterrissadora enviada pela NASA e que teve como intuito investigar a geologia de Marte, encontrando dunas de areia, seixos e rochas desgastadas pelo transporte e o tempo, além de informações sobre as tempestades globais de poeira.

Em 2003, a missão *Mars Express* foi do tipo orbitadora e aterrissadora enviada pela Agência Espacial Europeia e pela Agência Espacial Italiana, tendo como objetivo principal procurar indícios de água na superfície marciana. Esta alcançou seu objetivo, encontrando água congelada no polo sul marciano.

No mesmo ano é lançada a sonda *Spirit* a qual explorou rochas e solo à procura de indícios da existência de água. Segundo [3], a *Spirit* descobriu que apesar de Marte apresentar características seca e empoeirada, existia um ambiente propício para o desenvolvimento da vida microbiana, sendo encontrado em *Columbia Hills* (grupo de colinas de pequena altura, que estão dentro da Cratera de *Gusev*), em 2007, depósito de sílica opalina, minerais esses que podem ser formados em locais onde há a presença de fluidos de fontes termais.

Esses depósitos, que são feitos de um mineral chamado opala amorfa, também encontrada na Terra, geralmente surgem ao redor de fontes termais ou áreas onde atividade vulcânica tenha acontecido. Em algumas áreas de fontes termais no Chile, a sílica opalina se precipita da água [...]. Acredita-se que os depósitos de sílica opalina em Marte podem ter se formado de uma maneira similar. Foi estudado esses depósitos em Marte durante

anos, inclusive comparando com aqueles que foram encontrados na Terra [3].

Sobretudo, apesar da sílica opalina ser formada em locais onde a água em estado líquido alterou materiais criados por atividade vulcânica ou pelo impacto de meteoritos na superfície de Marte, não necessariamente há influência de atividade biológica. Então não se pode concluir que esse tipo de mineral realmente está associado à vida microbiana em Marte.

Também houve a exploração do território marciano com a Curiosity, lançada em 2011, a qual teve um grande mérito ao explorar Marte, alcançando seus objetivos de maneira satisfatória, no que se tratando do campo da geologia planetária, descobrindo rochas metálicas, depósitos de minerais, existência de água primitiva, afloramentos rochosos, tempestades de poeira, presença de níveis baixos de metano e existência de compostos orgânicos em amostras de rochas.

Com base nessas missões, foi possível analisar a geologia e as possibilidades de colonizar Marte, bem como o desenvolvimento de vida, mesmo microbiana, além de teorizar ideias, apesar de parecer ficção para terraformá-lo.

3 Marte terraforma e planetologia comparada

O termo terraformação foi empregado pela primeira vez por Jack Williamson em uma história de ficção científica chamada Seetee Shock em 1949. Tal termo pode ser dito como uma forma de alterar por meios artificiais as características de um planeta com o intuito de se ter um mundo com condições melhores para ser colonizado.

No que diz respeito a colonizar Marte, a comunidade científica utiliza esse termo quando o objetivo é fazer com que este fique similar a Terra, porque é importante lembrar que existem diversos impedimentos sobre manter a espécie humana por muito tempo no Planeta Vermelho, já que este não possui uma atmosfera espessa e muito menos um campo magnético para protegê-lo. Vale ressaltar também que este não se encontra exatamente em zona habitável, termo dado para um determinada região referente a estrela na qual a vida em um planeta pode se desenvolver e fazer com que o estado da água se apresenta líquida. Sendo assim, se faz necessária a análise da pla-

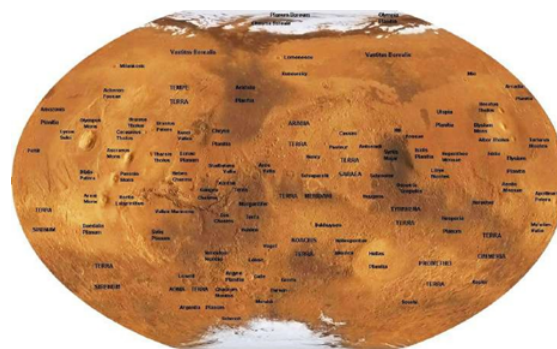


Figura 1: Mapa de Marte.
Fonte: Ref. [4].

netologia comparada e algumas similaridades entre os aspectos geológicos e estruturais de ambos planetas, devido aos inúmeros condicionantes que tornam Marte inabitável atualmente.

É essencial, primeiramente, realizar comparações entre ambos e apontar as principais características as quais são importantes para a sobrevivência de seres terrestres e também analisar o planeta de um modo geral. A Tabela 1 traz algumas das principais comparações do planeta Marte com a Terra. Pode ser observado como os dois planetas apresentam algumas características quase equivalentes, como por exemplo a duração do dia e a inclinação do eixo de rotação. Todavia, é perceptível também como algumas outras características divergem da Terra, tais como a duração do ano, distância do Sol e também a composição atmosférica.

A Figura 1 mostra o mapa de Marte, citando os devidos locais existentes e mapeados através das sondas orbitadoras e aterrisseadoras. Se faz importante o conhecimento dos locais em questão para um estudo mais aprofundado e analítico do que existiu e do que existe em Marte e também para verificar a localização de estruturas e eventos geológicos que serão citados ao longo desse manuscrito.

4 Características de Marte

4.1 Campo magnético

Com a ajuda da sonda Mars Global Surveyor (MGS) enviada pela NASA, nos anos 1997 a 2006, que levava consigo um pequeno magnetômetro, foi possível mapear Marte a uma altitude de aproximadamente 100 km acima da superfície, sendo feito estudos paleomagnéticos onde foram detec-

Tabela 1: Características de Marte e da Terra.

Características	Marte	Terra
Distância ao Sol (km):	206.600.000 (periélio) 249.200.000 (afélio)	147.100.000 (periélio) 152.100.000 (afélio)
Duração do dia (horas)	24,64	23,934
Duração do ano (dias)	687	365,25
Diâmetro (km)	6792	12756,28
Massa (kg)	$6,4185 \times 10^{23}$	$5,9737 \times 10^{24}$
Densidade (g/cm ³)	3,94	5,515
Inclinação do eixo (°)	25,19	23,5
Gravidade (m/s ²):	3,7	9,8
Momento magnético dipolar (Gauss R3):	0	0,3076
Pressão atmosférica à superfície (mbar):	~ 6,9 – 9	1014
Composição da atmosfera (% vol):	Dióxido de carbono (96%), Nitrogênio (<2%), Argônio (<2%), outros (<2%)	Nitrogênio (78%), Oxigênio (21%), Outros (1%)

tadas anomalias magnéticas quanto mais se aproximava do hemisfério sul.

Ao contrário do que se esperava, esses valores foram aumentando cada vez mais, passando de 55 nT para 1500 nT [5]). Apesar de surpreendente, considerando que Marte não possui um campo magnético global, esses valores ainda são muito baixos, comparado ao campo magnético da Terra que pode variar de 70 mil a 45 mil nT [1].

Com esses dados, foi gerado um mapa com linhas de magnetização, revelando polaridades alternadas na superfície marciana que chegaram a uma distância de aproximadamente 2000 km, como pode ser observado na Figura 2.

Essas polaridades alternadas se assemelham às que foram detectadas no fundo oceânico da Terra nos anos 1960, acreditando que esteja relacionado às atividades tectônicas e, conseqüentemente, sugerindo que o campo magnético de Marte teve diversas inversões geomagnéticas. À medida que a nova crosta oceânica é formada, minerais magnéticos se alinham de acordo com o campo magnético vigente à época de cristalização do magma. Estudos paleomagnéticos sugerem que houveram

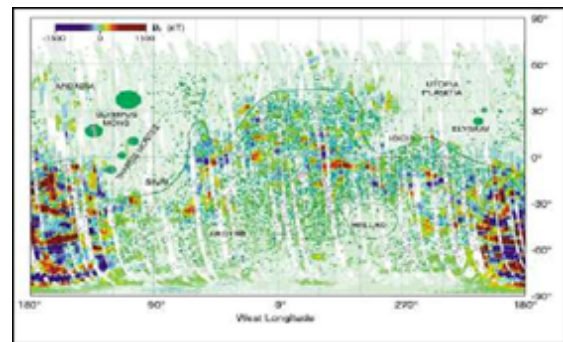


Figura 2: Mapa de Marte mostrando polaridades alternadas. Fonte: Ref. [5].

modificações na polaridade e nas características do campo magnético da Terra ao longo de sua história geológica. Segundo [6], o estabelecimento de um campo magnético foi essencial para o surgimento da vida na Terra, então a ausência de um campo magnético em Marte impossibilita uma atmosfera estável, efeito estufa e temperaturas mais amenas.

Como atualmente Marte é ausente de um campo magnético global, talvez uma explicação para que em algumas partes do planeta seja mag-

netizado é pelo fato de muitas rochas ainda estarem magnetizadas remanescentemente, isto porque algumas rochas, quando em formação e constituídas por minerais ferrosos, são capazes de preservar a magnetização quando solidificado na presença de um campo magnético e se alinhando de acordo com a orientação deste [7].

É provável que há muito tempo existia a presença de um campo magnético global significativo em Marte, mesmo que fraco. Esse estudo se mostra importante com relação tanto para Marte como também para a Terra, para compreendermos melhor se algum dia isso acontecerá com este último.

A ausência de um campo magnético global em Marte é um problema, causando danos a qualquer tipo de vida que possa vir a existir. A presença de água e da atmosfera requerem uma magnetosfera capaz de proteger a atmosfera de ser arrancada pelas partículas radioativas provindas das tempestades solares.

Vendo por esse lado, um primeiro passo para a colonização marciana seria pensar em uma solução para a questão da ausência de um campo magnético. Pensando nisso, pesquisadores da Divisão de Ciência Planetária da NASA (PSD) apresentaram suas ideias em uma oficina do *workshop* “Visões para a Ciência Planetária 2050”, realizado pela mesma. Segundo [8], uma dessas possibilidades sugeridas é a da colocação de um dipolo magnético, em forma de satélite, gerando um campo magnético de 1 a 2 tesla (10^9 a 2×10^9 nanotesla), acompanhando assim a órbita do planeta e protegendo-a das partículas radioativas emitidas pelas tempestades solares.

O campo magnético da Terra é de aproximadamente 40 vezes mais forte que o de Marte, sugerindo que talvez essa ideia possa funcionar, mesmo se uma magnetosfera artificial gerada para Marte possa ser muito mais potente que o natural da Terra. Nas condições que o planeta Marte apresenta, essa indução magnética seria essencial para a colonização.

Foram feitas simulações pela mesma agência para determinar se isso seria possível e ficou comprovado que sim, caso o dipolo fosse colocado no ponto de Lagrange 1, sendo esses, pontos imaginários que indicam quais posições, determinados objetos, podem estar em relação a objetos maiores [8]. Em outras palavras, essa localização equilibraria gravitacionalmente esse satélite.

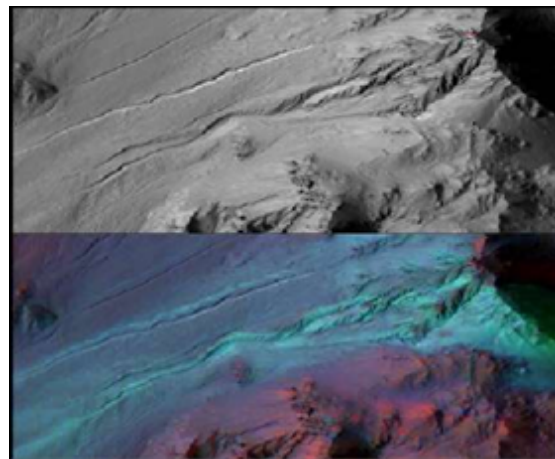


Figura 3: Feições no solo marciano. Fonte: Ref. [2].

Ao que parece ficção, seria uma ideia plausível e que na prática há grandes possibilidades de seu funcionamento pois já foram criadas magnetosferas artificiais com o intuito de proteger astronautas da radiação solar.

4.2 Água em Marte

Nesse tópico será abordado a existência de determinadas estruturas sedimentares encontradas em Marte com o auxílio das diversas sondas enviadas, sugerindo uma possibilidade de que há milhões de anos atrás possa ter existido água líquida fluindo em diversos locais do território marciano.

A Figura 3 é uma das fotografias obtidas pela câmera High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE) da Mars Reconnaissance Orbiter (MRO), em 2009, mostrando a existência de sulcos em Marte, cerca de três quilômetros do lado leste da Cratera Gale.

Segundo [2], essa erosão parece ter sido formada em um passado recente, não sendo possível observar qualquer impacto de meteorito, também pode ter sido formado pelo escoamento fluvial, apresentando características de uma voçoroca, como se houvesse a presença de água líquida fluindo, assim como ocorre na Terra.

Essa concepção é desconsiderada quando foram realizados estudos mais aprofundados da mineralogia e das feições do solo com a Compact Spectrometer for Mars (CRISM) da MRO. As informações obtidas em forma de codificação por espectrometria não encontraram qualquer sinal de água líquida, podendo essas feições ter ocorrido por outro evento como por exemplo as avalanches de areia seca que também podem resultar

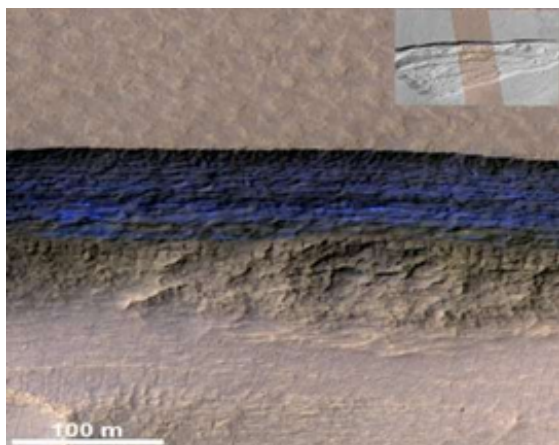


Figura 4: Imagem fotografada de cima pela MRO mostrando depósito de gelo em Marte. Fonte: [10].

no mesmo processo.

Outro caso parecido ocorreu quando em janeiro de 2004 a sonda Opportunity, encontrou com o Thermal Emission Spectrometer (TES) evidências de hematita. Tal mineral foi encontrado na região denominada Meridiani Planum e, quando encontrada, apresentava uma forma arredondada, parecendo ter sido transportada por algum escoamento. Segundo [9]:

Esses minerais contidos nas rochas pareciam estar em camadas finamente delineadas, preenchiam antigos canais e outras áreas baixas da topografia, sugerindo que rochas com esses minerais foram depositadas pela água em vez de arrastadas pela paisagem como cinza vulcânica ou poeira esvoaçante.

Outro caso de água em Marte é a presença de gelos nos polos marciano e até mesmo em sub-superfície. Sabe-se disso quando, em 2011, foi encontrado também pela HiRISE da Mars Reconnaissance Orbiter, uma densa camada de gelo a $56,6^\circ$ de latitude sul e $114,1^\circ$ de longitude leste de Marte. Tal camada chegava a aproximadamente 80 metros de largura e 100 metros de extensão. Eram camadas de gelo que estavam presentes em escarpas cujo talude apresentava inclinação de aproximadamente 45° a 55° [10], como mostra a Figura 4.

Talvez esse gelo tenha sido neve há muitos anos, o qual caiu sob a superfície de Marte e ficou armazenado como gelo devido ao ambiente geológico mencionado. Posteriormente, recoberta por uma camada de areia de aproximadamente 1 a 2 metros [11] e depois de muito anos, ficando

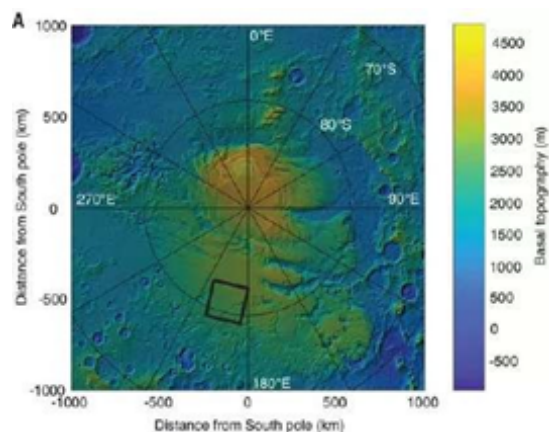


Figura 5: Localização da região Planum Australe onde foi encontrado um lago com água líquida em Marte. Fonte: Ref. [12].

exposta conforme ocorriam as erosões pelas avalanches nesse local. Ou até mesmo ficando exposta devido a alguma atividade tectônica por ter sido encontrada em um ambiente similar à uma imensa falha e esse gelo podendo ter ficando visível nas escarpas. Anos anteriores também foram descobertas camadas de gelo parecida nas latitudes médias de Marte, sugerindo que depósitos como esse podem ser comuns neste planeta.

Vale ressaltar que mais recentemente, no dia 25 de julho de 2018, com os dados coletados entre maio de 2012 e dezembro de 2015, foi divulgado pela Agência Espacial Italiana, com o radar Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding (MARSIS), da Mars Express, a detecção de um lago com água líquida em Marte. Segundo [12]. Este lago está contido em uma região denominada Planum Australe, localizado abaixo da calota polar no polo sul de Marte a aproximadamente 1600 metros de profundidade. Na Figura 5 pode ser observado a localização da região Planum Australe onde foi encontrado um lago com água líquida em Marte.

Essa água possui uma determinada concentração de salinidade e se encontra com uma temperatura abaixo do ponto de congelamento da água pura, cerca de 10 graus Celsius negativos, com altas concentrações de magnésio, cálcio e sódio, capaz de reduzir o ponto de fusão a 74 graus Celsius negativos [13].

Contudo, é essencial ter certeza se esta água se encontra favorável para consumo humano e para isso, é necessário a perfuração do solo do devido local a uma profundidade na qual os cientistas ainda não estão preparados. Ademais, com

a sonda InSight, recentemente enviada ao Planeta Vermelho que levou consigo um instrumento capaz de perfurar o solo marciano, seria possível auxiliar no estudo do local, mas não sendo possível confirmar a existência dessa água e de suas características devido a profundidade. Seria necessário o envio de uma outra sonda capaz de obter essa confirmação.

Pensando nisso, Marte não se trata apenas de um lugar seco, há possibilidades de ser encontrado outras evidências como essas abordadas e isso facilitaria as futuras missões com o objetivo de habitá-lo, podendo ser mais fácil indicar onde poderá ser aterrissada as naves tripuladas e as latitudes médias poderiam ser um desses locais, até porque, não seria prudente habitar os polos marcianos a procura de água devido a temperatura que pode chegar a $-125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Também seria essencial a dessalinização da água líquida encontrada em Marte, assim como acontece em alguns países da Terra. Ademais, é necessário uma magnetosfera artificial, sendo importante para o equilíbrio da temperatura e, conseqüentemente, da presença de água em estado líquido.

4.3 Composição do solo

O que sabemos a respeito da composição do solo de Marte está relacionada às análises de meteoritos, que caíram na Terra e dados das sondas que foram enviadas (tanto os *landers* como os orbitadores) e que levavam instrumentos, bem como espectrômetros ou magnetômetros. Com isso, foi possível estudar determinadas rochas, solos, crateras e mapear o planeta [14].

Em alguns locais do solo marciano foi detectado valores anormais de silício. Primeiro foi na cratera Gale, em 2012 com o Curiosity e pela Spirit (2004-2010) em uma área denominada Home Plate, na cratera Gusev. As medições desse primeiro foram feitas com o instrumento Chemistry and Camera (ChemCam) da Curiosity, instrumento este capaz de analisar o conteúdo mineralógico das rochas [15].

Além desses dois locais, também foi encontrado valores anormais de silício na cratera Gale, na área Bridger Basin, na rocha Buckskin na área Maria's Pass e na rocha denominada Ithaca, ambos com o Curiosity [16]. O espectro desta última rocha, dado pelo ChemCam, mostra que ela é composta pelos elementos silício, magnésio, alumínio, cálcio, sódio, potássio, oxigênio, titânio,

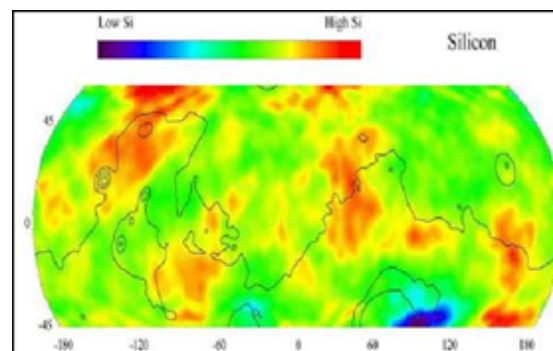


Figura 6: Concentração de silício com base nos dados da Suíte GRS (Spanometer Spectrometer - Espectrômetro de Raios Gama) da espaçonave Mars Odyssey. Fonte: Ref. [18].

cromo e manganês, sendo esses elementos típicos do basalto vulcânico, presentes em Marte [17]. Já na cratera Gale foi encontrada tridimita, polimorfo de alta temperatura do quartzo, estando associada a erupções vulcânicas explosivas e se tratando de um mineral silicoso, raro na Terra, podendo ser encontrada em meteoritos e nunca antes detectada em Marte [15].

Em 2001, a Mars Odyssey mapeou as latitudes médias de Marte com o espectrômetro de raios gama, também detectando que uma grande parte de Marte é constituído por um alto teor de silício. No mapa da Figura 6 pode ser observado que o maior teor de silício está concentrado no lado superior oeste, enquanto o menor teor está concentrado no lado inferior leste. O que os pesquisadores relataram um alto teor de silício, deve ser maior que 60%, caracterizando rochas ígneas intrusivas e ácidas e locais com teores menores, entre 45% e 55%, caracterizando rochas ígneas básicas [9].

Em se tratando da característica vermelha da superfície marciana, está relacionada à presença de rochas constituídas por minerais férricos. Esses, quando oxidados, adquirem uma tonalidade vermelha, fazendo desta uma das principais características do solo do planeta. Um exemplo é a hematita, mineral importante em se tratando da composição de Marte. Ele é um dos principais minerais encontrados no Planeta Vermelho, constituído principalmente por ferro, caracterizando a cor vermelha da superfície marciana e possuindo propriedades paramagnéticas.

Em suma, algumas análises mostraram um alto teor de silício em algumas rochas do solo marciano; outras análises revelaram uma química de

rocha total semelhante à química de basaltos vulcânicos. Então pode ser dito que Marte é predominante ígneo, sendo a maioria da superfície formada por rochas ígneas plutônicas e vulcânicas, com algumas regiões contendo alto teor de silício e outras com alta quantidade de basalto vulcânico.

4.4 Tempestades de poeira

As tempestades globais de poeira cobrem todo o solo marciano, épocas marcadas por erosões do relevo e que tendem a reaparecer, fazendo com que toda atmosfera de Marte fique coberta por poeira e bloqueando a luz solar.

Em Marte, eventos como esse são mais favoráveis no periélio, época em que o planeta está mais próximo do Sol, e se inicia em uma parte do planeta de forma consideravelmente normal, se intensificando conforme aumenta a quantidade de calor recebida em Marte.

Essa quantidade de luz é incidida na superfície, e como esta última possui uma baixa inércia térmica, tem mais facilidade em aquecer quando atingida pelo calor do Sol e, conseqüentemente, aquecer o ar mais próximo, deixando o ar acima deste mais frio, com isso, o ar quente e o ar frio se tornam instáveis. Conforme o ar quente sobe, leva consigo uma determinada quantidade de poeira e podendo se transformar em tempestades de poeira global, com duração de semanas ou meses [19]. A razão pela qual essas tempestades apresentam uma duração longa está relacionado com o fato da poeira que, quando elevada até a atmosfera, recebe mais energia devido ao calor do Sol e também pela ausência de precipitação/umidade em Marte, tais como chuva ou neve, isto favorece ainda mais a duração das tempestades, fazendo com que a poeira na atmosfera demore mais tempo para descer

Tempestades como essas foram detectadas em Marte nos anos 1977, 1982, 1994, 2001, 2007 e 2018. A figura 7 mostra as fases da tempestade tirada pelo Opportunity, em 2007. A tempestade global de poeira ocorrida ameaçou os robôs Spirit e Opportunity que estavam em missão em Marte, fazendo com que seus painéis solares ficassem cobertos por poeira e eles interrompessem suas atividades.

Esses eventos são capazes de alterar algumas estruturas, mas não destruir violentamente tudo, como algumas vezes ocorre aqui na Terra. Isso

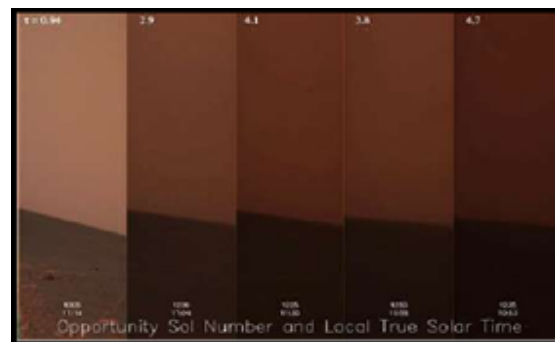


Figura 7: Fotografia obtida pela Opportunity, evidenciando uma tempestade de poeira em Marte em 2007.

Fonte: Ref. [20].

porque devido à pressão atmosférica de Marte ser menor que a da Terra (menos de 1%), fica mais fácil dessa poeira ser levantada e, segundo [19], como a velocidade dos ventos em Marte em épocas de imensa tempestade de poeira é muito menor que a velocidade dos furacões na Terra (cerca de menos da metade), e apesar de parecer devastador, isso não impediria a colonização de Marte, mas afetaria, por vezes, a saúde dos habitantes além de destruir pequenas edificações.

Pensando nisso, melhorar a forma de prever tempestades globais de grande escala seria importante tanto para os robôs quanto para os futuros colonizadores. Uma das soluções para isto é que seria eficaz o aumento do efeito estufa, capaz de equilibrar a pressão atmosférica e, ocasionalmente, as tempestades de poeira. Contudo, seria essencial uma magnetosfera para que a formação do efeito estufa na atmosfera não fosse arrancada pelos raios cósmicos.

5 A InSight

A Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport (InSight) é um módulo que foi enviado pela NASA no dia 05 de maio de 2018 e aterrissou em solo marciano em 26 de novembro de 2018. Visando estudar o interior de Marte, a InSight se trata de uma sonda geofísica que levou um sismômetro que tem como objetivo medir as ondas sísmicas bem como as causadas por impactos de meteoritos. Também levou consigo uma sonda de fluxo térmico, podendo perfurar o solo marciano cerca de 5 metros, com o penetrômetro Mole (instrumento que funciona através de mecanismo rotativo) e medir o gradiente geotérmico [21]. As informações

obtidas por esses equipamentos serão imprescindíveis no que diz respeito à formação e evolução de Marte e também da Terra.

6 Considerações finais

Apesar de analisarmos os seus parâmetros fundamentais como a análise da composição de Marte, presença de água, processo erosivo e até mesmo seu campo magnético, estes, quando em comparação com a Terra, não são suficientes para a possível sobrevivência de seres humanos em Marte. Para isso, são necessários estudos e análises de todas as áreas da ciência e também da terraformação de Marte, para mudar algumas características, fazendo o ambiente marciano ficar mais confortável para ser habitável. Também vale deixar claro como a presença de um campo magnético é o mais importante, sendo muitos outros fatores dependentes deste, como as imensas tempestades de poeira e a existência de água em estado líquido. Sendo assim, pode-se concluir que a ideia de criar uma magnetosfera artificial em Marte possa vir a ser concretizada, ao passo que poderá haver insegurança caso a tecnologia falhe.

Quanto a questão da água, o fato de haver gelo no subsolo nas latitudes médias faria os seres humanos terem acesso com maior facilidade para consumir a água, ou até mesmo a presença de uma magnetosfera artificial, auxiliando o derretimento de geleiras nos polos, o que poderia vir a formar oceanos em Marte.

A solução para as imensas tempestades de poeira pode ser resolvida geologicamente porque, apesar de se tratar de fatores atmosféricos, também está relacionado a fenômenos geológicos. Ademais, talvez com a formação do efeito estufa isso venha a ser resolvido, pois equilibraria a atmosfera atual de Marte.

Não seria adequado enviar milhares de seres humanos apenas para habitar Marte sem antes ter um estudo mais preciso acerca do planeta e também porque seria essencial a terraformação primeiro, mas como isso demoraria milênios, a comunidade científica opta pela colonização do planeta mesmo com as dificuldades naturais que os seres terráqueos enfrentariam em Marte.

Sobre a autora

Gislayne Roque Silvestre ([gis-](mailto:gislayne.littrell@gmail.com)

layne.littrell@gmail.com) é graduanda em Geografia na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Também é técnica em Geologia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), possuindo experiência na área de geociências, com ênfase em geologia, geologia planetária, geofísica, sensoriamento remoto e ciências climáticas. Atualmente é aluna de Iniciação Científica pela UFRN.

Referências

- [1] P. M. Branco, *Magnetismo terrestre*, Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2015). Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Magnetismo-Terrestre-2623.html>, acesso em fev. 2023.
- [2] D. Kwon, *Search for life on the red planet*, The Scientist (2017). Disponível em <https://www.the-scientist.com/features/search-for-life-on-the-red-planet-30176>, acesso em fev. 2023.
- [3] R. Paoletta, *O local mais controverso para o pouso de uma nova missão em marte é também o mais animador*, Gizmodo UOL (2017). Disponível em <https://gizmodo.uol.com.br/novo-rover-marte-local-para-pouso/>, acesso em fev. 2023.
- [4] M. Švanda, *Tajemství rudé planety: Povrchové extrémy marsových sopek a kaňonů*, Što Plus Jednička. Disponível em <https://www.stoplusjednicka.cz/tajemstvi-rude-planety-povrchove-extremy-marsovy-ch-sopek-kanonu>, acesso em fev. 2023.
- [5] *Martian interior: paleomagnetism*, European Space Agency (2019). Disponível em <https://sci.esa.int/web/mars-express/-/31028-martian-interior?section=paleomagnetism>, acesso em fev. 2023.
- [6] N. Neal-Jones e C. O'Carroll, *New map provides more evidence mars once like*

- earth*, Goddard Space Flight Center - NASA (2010). Disponível em https://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2005/mgs_plates.html, acesso em fev. 2023.
- [7] J. Lopes, *Fim do campo magnético*, Super Interessante (2013). Disponível em <https://super.abril.com.br/ciencia/fim-do-campo-magnetico/>, acesso em fev. 2023.
- [8] *O plano da nasa para transformar marte em um planeta*, BBC News Brasil (2017). Disponível em <https://www.bbc.com/portuguese/geral-39164794>, acesso em fev. 2023.
- [9] P. R. Christensen, *The many faces of mars* **293**(1), 32 (2005).
- [10] *Pit where a scarp exposes an underground deposit of martian ice*, Photojournal JPL NASA (2018). Disponível em <https://mars.nasa.gov/resources/21429/pit-where-a-scarp-exposes-an-underground-deposit-of-martian-ice/>, acesso em fev. 2023.
- [11] J. Parks, *Massive, deep deposits of ice found on mars*, Astronomy (2018). Disponível em <https://astronomy.com/news/2018/01/martian-ice>, acesso em fev. 2023.
- [12] R. Orosei et al., *Radar evidence of subglacial liquid water on mars*, *Science* **361**(6401), 490 (2018). [ArXiv:arXiv:2004.04587](https://arxiv.org/abs/2004.04587).
- [13] E. Veiga, *Cientistas encontram água líquida em marte, descoberta que pode transformar busca por vida*, BBC News Brasil (2018). Disponível em <https://www.bbc.com/portuguese/geral-44946892>, acesso em fev. 2023.
- [14] L. Xiao, *Ways to Study Mars*, in *Mars on Earth*, editado por L. Xiao (World Scientific, 2021), 1.
- [15] *Very high silicon content surprises mars researchers*, Niels Bohr Institute (2015). Disponível em <https://nbi.ku.dk/english/news/news15/very-high-silicon-content-surprises-mars-researchers/>, acesso em fev. 2023.
- [16] *Rocks rich in silica present puzzles for mars rover team*, Jet Propulsion Laboratory - NASA (2015). Disponível em <https://www.jpl.nasa.gov/news/rocks-rich-in-silica-present-puzzles-for-mars-rover-team>, acesso em fev. 2023.
- [17] *Chemcam spectrum from Martian Rock Target 'Ithaca'*, NASA Science Mars Exploration (2013). Disponível em <https://mars.nasa.gov/resources/5763/chemcam-spectrum-from-martian-rock-target-ithaca/>, acesso em fev. 2023.
- [18] *Map of martian silicon at mid-latitudes*, NASA. Disponível em <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia04256-map-of-martian-silicon-at-mid-latitudes>, acesso em fev. 2023.
- [19] K. Mersmann, *The fact and fiction of martian dust storms*, NASA (2017). Disponível em <https://www.nasa.gov/feature/goddard/the-fact-and-fiction-of-martian-dust-storms>, acesso em fev. 2023.
- [20] *NASA Mars Rovers Braving Severe Dust Storms*, NASA. Disponível em <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasa-mars-rovers-braving-severe-dust-storms>, acesso em fev. 2023.
- [21] S. Sacani, *Insight estudará os terremotos marcianos*, Space Today (2018). Disponível em <https://spacetoday.com.br/insight-estudara-os-terremotos-marcianos-space-today-tv-ep-1172/>, acesso em fev. 2023.