

Cerrado como modelo de ambiente extremo a primeira era marciana

Cerrado as a model of extreme environment the first Martian era

Cerrado como modelo de ambiente extremo la primera era marciana

Recebido: 19/10/2022 | Revisado: 19/05/2023 | Aceitado: 20/05/2023 | Publicado: 25/05/2023

Millena Cristina Vale Andrade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5803-3820>
Universidade Federal de São João del Rei, Brasil
E-mail: millenacva@yahoo.com.br

Bruno Leonardo do Nascimento-Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3632-9073>
Universidade Federal do Paraná, Brasil
E-mail: bruno.astrobio@gmail.com

Ana Paula Madureira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6614-7940>
Universidade Federal de São João del Rei, Brasil
E-mail: apmadureira@ufsj.edu.br

Resumo

A savana brasileira (bioma do Cerrado) é um dos biomas do Brasil que possuem características geológicas e ambientais que se assemelham a Marte. No entanto, o número de estudos desse ambiente e sua diversidade microbiana para fins astrobiológicos ainda são escassos na literatura global. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é apresentar os aspectos da savana brasileira (bioma do Cerrado), que possuem características análogas aos ambientes da primeira era de Marte. O método escolhido para desenvolver esta pesquisa foi o levantamento documental de bibliográficas sobre biotecnologia e áreas afins publicadas por meios livros e artigos científicos. Foram recolhidas informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito de forma a contribuir significativamente para Astrobiologia. Como resultado foi possível constatar que o Cerrado se assemelha a um ambiente da primeira era marciana, sendo encontrados isolados de extremófilos, tais como os dos reinos Thermobrachium, do filo actinomiceto, além da bactéria Flavobacterium sp. Por fim, com base nos resultados é possível dizer que o Cerrado apresenta características bastante semelhantes a outros ambientes terrestres análogos muito utilizados para pesquisas em Astrobiologia, pois possui grande potencial e ainda é pouco explorado.

Palavras-chave: Extremófilos; Marte; Cerrado; Savana brasileira.

Abstract

Brazilian savannas (Cerrado biome) is one of the biomes of Brazil that have geological and environmental characteristics which resemble Mars. However, the number of studies in this environment and their microbial diversity for astrobiological purposes are still scarce in the literature. Thus, the objective of this work is to present aspects of the Brazilian savanna (Cerrado biome), which have similar characteristics to the environments of the first Mars era. The chosen method to develop this research was a documentary survey of bibliographies on biotechnology and related areas published through books and scientific articles. Previous information or knowledge was collected in order to contribute significantly to Astrobiology. As a result, it was possible to verify that the Cerrado resembles an environment of the first martian era, being found isolated extremophiles, such as those from Thermobrachium kingdoms, from the phylum actinomycete, in addition to the bacteria Flavibacterium sp.. Finally, based on the results, it is possible to say that Cerrado has very similar characteristics to other analogues terrestrial environments widely used for research in Astrobiology, as it has a great potential and is still little explored.

Keywords: Extremophiles; Mars; Cerrado; Brazilian savannas.

Abstracto

Las sabanas brasileñas (bioma Cerrado) es uno de los biomas de Brasil que tiene características geológicas y ambientales que se asemejan a Marte. Sin embargo, el número de estudios en este ambiente y su diversidad microbiana con fines astrobiológicos aún son escasos en la literatura. Así, el objetivo de este trabajo es presentar aspectos de la sabana brasileña (bioma Cerrado), que tienen características similares a los ambientes de la primera era de Marte. El método elegido para desarrollar esta investigación fue el levantamiento documental de bibliografías sobre biotecnología y áreas afines publicadas a través de libros y artículos científicos. Se recopiló información o conocimiento previo con el fin de contribuir significativamente a la Astrobiología. Como resultado, fue posible verificar que el Cerrado se asemeja a un ambiente de la primera era marciana, encontrándose extremófilos aislados, como los de los reinos Thermobrachium, del phylum actinomycete, además de la bacteria Flavibacterium sp.. Finalmente, basado Sobre los resultados, es posible

decir que Cerrado tiene características muy similares a otros ambientes terrestres análogos ampliamente utilizados para la investigación en Astrobiología, ya que tiene un gran potencial y aún está poco explorado.

Palabras clave: Extremófilos; Marte; Cerrado; Sabanas brasileñas.

1. Introdução

O Brasil é considerado um dos hotspots mais importantes do mundo com um alto nível de biodiversidade (Genuário et al, 2019). O país apresenta mais de 600 habitats diferentes abrangendo 53 ecossistemas grandes (Duarte et al., 2012). Apesar de ser considerado um território tropical com o clima mesofílico, existe uma variedade de ambientes extremos brasileiros, não apenas naturais, mas também promovidos por ações humanas (Genuário et al, 2019; Trabaquini et al, 2013; Duarte et al., 2012). No entanto, o número de estudos desses ambientes e sua diversidade microbiana para fins astrobiológicos ainda são escassos.

É importante destacar que ambientes extremos são descritos como locais onde a maior parte das espécies não conseguem tolerar as condições estabelecidas (Preston & Dartnell, 2014). Porém, o termo extremo deve ser usado com cautela por representar um ponto de vista antropocêntrico (Rothschild & Mancinelli, 2001). Na Terra, existe uma diversidade desses ambientes que são capazes de sustentar a vida (Preston & Dartnell, 2014). Os extremófilos, por exemplo, são organismos adaptados fisiologicamente que prosperam sob os parâmetros dessas regiões (Clarke, 2014; Rothschild & Mancinelli, 2001). Dentre esses organismos podem existir aqueles que são considerados poliextremófilos, ou seja, quando crescem em mais de um ambiente extremo (Rekadwad & Khobragade, 2017; Capece et al, 2013; Rothschild & Mancinelli, 2001). Esses organismos podem ser encontrados nos domínios Archaea, Bacteria e Eucarioto (Woese et al., 1990).

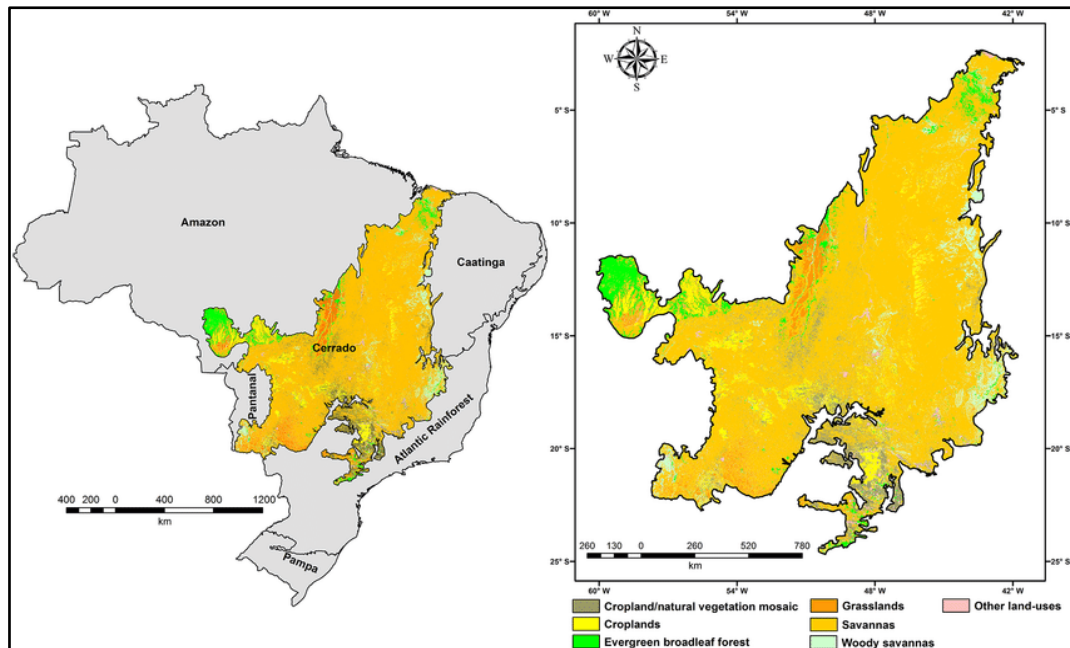
Essa habitabilidade de microrganismos terrestres para colonizar os ambientes extremos expande o número de corpos extraterrestres que podem ser candidatos à vida (Rothschild & Mancinelli, 2001). Portanto, é necessário compreender os fatores físicos de sua existência para avaliar a possibilidade de vida em algum lugar no universo, já que podem servir como análogos terrestres tanto para o passado quanto para o presente (Preston & Dartnell, 2014).

Nesse sentido, a savana brasileira (bioma do Cerrado) é um dos biomas do Brasil que possuem características geológicas e ambientais que se assemelham a Marte. Esse bioma é caracterizado pela vasta variabilidade climática, e cobre uma grande área estendida por muitas faixas latitudinais (Kayano & Andreoli, 2009). Portanto, a ideia principal aqui será apresentar os aspectos que levam o Cerrado ser um ambiente terrestre análogo a regiões de Marte.

2. Metodologia

Esta é uma pesquisa que possui uma abordagem qualitativa e que centra-se na compreensão e explicação da dinâmica dos conteúdos (Allan, 2020; Aspers & Corte, 2019; Clark & Vealé, 2018). Com base nisso o desenvolvimento metodológico seguirá de forma descritiva buscando apresentar detalhamentos de fenômenos e processos. Na Figura 1 é apresentado um mapa com todos os biomas brasileiro. No entanto, o Cerrado está destacado porque é o ambiente que será analisada como modelo terrestre análogo para Marte.

Figura 1 – Localização dos biomas brasileiros, destacando o bioma do Cerrado.



Fonte: Mataveli (2018).

A descrição dos ambientes extremos brasileiros com condições análogas a Marte se dará através de pesquisas de levantamento documental de biografias teóricas (Krosnick, 1999; Schmidt, 1997) sobre biotecnologia publicadas por meios livros e artigos científicos (Genuário, 2019; Belmok et al, 2019; Silva et al, 2018; de Catro et al. 2013; Duarte et al., 2012; Ramirez et al., 2006 Rothschild & Mancinelli, 2001; Engle et al., 1996). Com base nessa estrutura de pesquisa o objetivo é recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito de forma a contribuir significativamente para Astrobiologia e despertar interesse nessa região ainda pouco explorada nesta área de pesquisa (Hamada & Rashid, 2019).

3. Resultados e Discussão

Marte é o planeta mais similar à Terra no Sistema Solar em muitos aspectos (Yoshizaki & McDonough, 2020; Banfield et al. 2020; Schmidt et al, 2018; Petrescu et al, 2018; Lucchitta; 1981). De acordo com Preston e Dartnell (2014), é possível que o planeta vermelho já tenha passado por três estágios climáticos principais (Figura 2).

Figura 2 - A evolução geológica e climática de Marte e os análogos terrestres considerados neste trabalho.

Era climática	Tempo geológico	Faixa etária absoluta (Ga)	Análogo
	Final Amazônico	0.6-0.3 até presente	
MARTE HIPERÁRIDO	Meio Amazônico	2.1-1.4 até 0.6-0.3	Atacama Univ. Valley
	Início Amazônico	3.1-2.9 até 2.1-1.4	
MARTE BOLA DE NEVE	Final Hesperiano	3.6 até 3.1-2.9	Axel Heiberg Groenlândia
	Início Hesperiano	3.7 até 3.6	Beacon Valley
MARTE FRIO E ÚMIDO	Final Nochiano	3.82 até 3.7	Pilbara
	Meio Nochiano	3.95 até 3.82	Kalgoorlie Rio Tinto
	Início Nochiano	>3.95	Ártico Canadiano

Fonte: Épocas condensadas de Hartmann e Neukum (2001).

A primeira era marciana apresentava uma superfície com água em abundância e temperaturas globalmente baixas (Rizzo et al, 2021; Bribring et al, 2006). Possuía uma atmosfera mais grossa, um campo magnético global e uma atividade vulcânica maciça (Cockell, 2020). A superfície é caracterizada por rochas vulcânicas, como filossilicatos e depósitos minerais, como ferro, magnésio e alumínio. Ainda, ocorre um intemperismo ácido no planeta (Cockell, 2020; Bribring et al, 2006).

A segunda era marciana começou quando o planeta foi se tornando cada vez mais frio e seco (Cockell, 2020). Apesar de isso não significar a ausência de água, a superfície marciana se tornou quase ou completamente congelada (Cockell, 2020; Chapman, 2007). O vulcanismo continuou maciço, porém com o desaparecimento do campo magnético global, ocorreu um aumento de aridez na superfície (Bribring et al, 2006).

A terceira era é caracterizada por ser extremamente árida e fria, com a superfície banhada de radiação solar de espectro total (Cockell, 2020; Chapman, 2007). A água líquida é rara e transitória, com as temperaturas ainda baixas (Chapman, 2007). O nível de radiação é alto, assim como a presença de luz UV. O solo continua ácido, contendo uma fração significativa de íons perclorato (Cockell, 2020; Chapman, 2007; Bribring et al, 2006).

Dessa forma, é possível perceber que Marte apresenta uma lista de características geológicas e ambientais extremas em sua superfície para diferentes eras geológicas (Guest e Chapman, 2008). Cada uma dessas eras representa diferentes pontos para a habitabilidade planetária, então são diferentes ambientes análogos terrestres dependendo da condição prevalente do planeta (Preston e Dartnell, 2014). Portanto, é possível atribuir diferentes ambientes análogos para cada um desses cenários e de suas eras geológicas, sendo tanto o cerrado quanto a caatinga capazes de oferecer alguns desses parâmetros de interesse para a Astrobiologia.

Cerrado (*Brazilian savannas*)

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, apenas menor que o bioma Amazônia, e cobre aproximadamente 22% do território brasileiro em 11 estados diferentes (IBGE, 2010). Devido à alta diversidade biológica, em particular as espécies endêmicas, que representam aproximadamente 44% da flora (Klink e Machado, 2005), o Cerrado é um hotspot de biodiversidade

mundial (Myers et al., 2000). Dentre os fatores que explicam a biodiversidade no bioma, pode-se destacar uma forte sazonalidade climática, disponibilidade de água e distúrbios antrópicos, como desmatamento e queimadas (Coutinho, 1990).

O clima predominante é tropical semiúmido, consistindo em duas estações bem definidas com períodos chuvosos de outubro a abril para a maior parte do Cerrado (Coutinho, 1990; Pivello, 2011; Moreira de Araújo et al., 2012) e, geralmente apresentando uma estação seca de maio a setembro durante o inverno (Kayano & Andreoli, 2009). A precipitação anual média varia entre 800 e 2000mm para 90% da área, porém existem déficits de água durante as estações secas (Coutinho, 1990). A temperatura anual média é de 25°C, mas pode atingir 40°C no verão e 10°C no inverno. O bioma não apresenta uma fitofisionomia única, variando desde formas campestres a formações de florestas densas (Dias, 1992).

Como aproximadamente 73% do cerrado está localizado entre 300 a 900m de altitude, a incidência de radiação UV é alta com valores de 475 e 500 W/m² em áreas abertas (Kayano & Andreoli, 2009). Ocorrem períodos de estiagem, conhecidos como veranicos, acompanhados por calor intenso, forte insolação e baixa umidade relativa em estações chuvosas. O tipo de solo predominante é latossolo, apresentando uma baixa disponibilidade de nutrientes nativos, além de baixa capacidade catiônica, altos teores de matéria orgânica e regime de temperatura isohipertérmico (Genuário et al, 2019; Belmok et al., 2019). O Cerrado ainda sofre com o pH ácido entre 4 e 5, devido aos altos teores de concentração de alumínio, os quais podem se tornar tóxicos quando solúveis no solo (Belmok et al, 2019; Duarte et al, 2012).

Todas essas condições fornecem características extremas de temperatura, disponibilidade de água, radiação, pH, potencial redox e alto teor salino, por conta da degradação por atividades humanas e mudanças no uso da terra. Vale salientar que o Cerrado se assemelha a um ambiente da primeira era marciana, em que conforme Preston e Dartnell (2014), às condições eram frias e úmidas (Figura 3).

Figura 3 – Comparação entre o Marte e diferentes ambientes terrestres no Brasil.



Rótulo: (A), (C) e (D) Cerrado - Brazilian savannas; (B) Marte. Fonte: Autores.

Além disso, o Cerrado possui características muito semelhantes a outros análogos da primeira era marciana, o Rio Tinto na Espanha, Quaedam Basin na China e Permian Opeche Shale nos Estados Unidos (Fairén et al, 2010; Amils et al; 2007; Benison & Bowen, 2006; Benison et al 1998). O Rio Tinto e o Cerrado apresentam um alto nível de minério no solo, além de um pH ácido (Amils et al; 2007). O Cerrado brasileiro e Permian Opeche Shale nos Estados Unidos são considerados territórios ácidos, salinos e com alto teor de minérios (Benison & Bowen, 2006; Benison et al 1998). Por fim, Quaedam Basin na China e o Cerrado apresentam características de salinidade, aridez e radiação UV (Fairén et al, 2010).

Com base nesses fatores é possível avaliar a possibilidade da vida existir em ambientes que possuam características análogas (Preston & Dartnell, 2014). No Cerrado existem exemplos de microrganismos que conseguem resistir a condições extremas. Foram isolados nesse ambiente *Actinomicetos*, *Thermobrachium* *Flavobacterium* *sp.*

Os *actinomicetos/actinobactérias* são um filo, do domínio Bactéria, e são Gram-positivas que apresentam crescimento filamentosos. Esses microrganismos são anaeróbios e produzem grânulos. Podem ser encontradas em diversos ambientes, sendo essenciais na decomposição dos compostos orgânicos no solo. Suas enzimas são de interesse para atividades biotecnológicas, pois produzem uma grande variedade de compostos bioativos como antibióticos. É importante destacar que a maior parte dos antibióticos comercializados (85%) são isolados deles. Além disso, são produtores de vitaminas, enzimas, agentes antitumorais, imunomoduladores, antiparalíticos, antiprotozoários, antivirais e antimicrobianos, e também podem agir como herbicidas e inseticidas (Silva et al, 2018)

As *actinobactérias* podem ser autótrofas, heterótrofas, fototróficas ou quimiotróficas, com a maior parte dos organismos sendo aeróbia e se reproduzindo por esporos. Conseguem sobreviver em condições de pH e temperatura elevados e stress hídrico, mas são mais conhecidas por serem halófilas (Belmok et al, 2019; Ramírez et al., 2006).

Cepas de *actinobactérias* (por exemplo, *Streptomyces* *sp.*) foram isoladas com sucesso de solos ácidos (pH 4,5) do Cerrado para aplicações biotecnológicas (Gomes et al., 1999, 2001). Também outro microrganismo, uma cepa acidofílica de *Flavobacterium* *sp.*, bactéria reconhecida por contribuir para o tratamento de esgoto, pode ser resistente ao alumínio 74 mM enquanto cresce a pH 3,5 (Konishi et al. 1994). Assim, *Flavobacterium* *sp.* têm aplicação biotecnológica, mas também implicações astrobiológicas (Gilichinsky et al., 2007; Liu et al., 2019).

Apesar do gênero *Flavobacterium*, domínio Bactéria, ser mais conhecido por ser um dos principais agentes deterioradores de alimentos e patogênicos, também é considerada ligeiramente halófila. São bactérias Gram-negativas, em formas de bastonetes finos, aeróbias estritas, imóveis e produtoras de pigmentos carotenóides. Sua temperatura ótima é abaixo de 30°C e são encontradas numa diversidade de habitats, dentre eles: ambientes aquáticos e solos naturais e impactados por diferentes contaminantes, como no Cerrado (Silva et al., 2018).

Outro caso é o gênero *Thermobrachium*, presente no domínio Bactéria, é anaeróbio obrigatório e termófilo, porém é moderadamente alcalofílico. São produtores de carboidratos de degradação da enzima hidrolítica (celulose, xilana, pectina quitina e amido), produtores de hidrogênio e formadores de endósporos.

Ademais, *Thermobrachium* apresenta uma temperatura ótima de crescimento de 60°C, mas sendo capaz de crescer entre 37°C a 75°C, e consegue sobreviver numa taxa de pH entre 5,5 a 9,5 (Mesbah & Wiegel, 2005). É uma bactéria que já foi encontrada no solo do Cerrado (Engle et al., 1996).

4. Considerações Finais

A descoberta de ambientes extremos e organismos que os habitam tornou mais plausível a busca de vida fora da Terra, já que é necessário entender os fatores físicos de sua existência para melhor avaliá-los. As pesquisas em ambientes análogos terrestres são formas de analisar a possibilidade de a vida existir em ambientes alternativos. Embora não seja uma representação perfeita, ainda permite aprender sobre a habitabilidade em lugares como Marte. É importante destacar que apesar de algumas propriedades serem mais difíceis de serem determinadas, o estudo de microrganismos que vivem no Cerrado demonstra grande potencial astrobiológico e biotecnológico. Portanto, o cerrado é um ambiente brasileiro que deveria ser mais explorado como análogo terrestre para pesquisas em Astrobiologia.

Referências

- Allan, G., & Skinner, C. (2020). *Handbook for research students in the social sciences*. Routledge.
- Amils, R. et al. (2007) Extreme environments as Mars terrestrial analogs: The Rio Tinto case. *Planetary and Space Science*, 55(3), 370-381.
- Aspers, P., & Corte, U. (2019) What is qualitative in qualitative research. *Qualitative sociology*, 42(2), 139-160.
- Banfield, D. et al. (2020) The atmosphere of Mars as observed by InSight. *Nature Geoscience*, 13(3), 190-198.
- Belmok, A. et al. (2019) Long-term effects of periodical fires on archaeal communities from Brazilian Cerrado soils. *Archaea*, 2019.
- Benison, K. C., & Bowen, B. B. (2006) Acid saline lake systems give clues about past environments and the search for life on Mars. *Icarus*, 183(1), 225-229.
- Benison, K. C., & Laclair, D. A. (2003) Modern and ancient extremely acid saline deposits: terrestrial analogs for martian environments? *Astrobiology*, 3(3), 609-618.
- Benison, K. C. et al. (1998) Extremely acid Permian lakes and ground waters in North America. *Nature*, 392(6679), 911-914.
- Bibring, J.-P. et al. (2006) Global mineralogical and aqueous Mars history derived from OMEGA/Mars Express data. *science*, 312(5772), 400-404.
- Capece, M. C. et al. (2013) Polyextremophiles and the constraints for terrestrial habitability. In: *Polyextremophiles*. Springer, Dordrecht, 3-59.
- Clark, K. R., & Vealé, B. L. (2018) Strategies to enhance data collection and analysis in qualitative research. *Radiologic technology*, 89(5), 482CT-485CT.
- Chapman, M. (2007) *The geology of Mars: evidence from Earth-based analogs*. Cambridge University Press.
- Cockell, C. S. (2020) *Astrobiology: understanding life in the universe*. John Wiley & Sons.
- Coutinho, L. M. (1990) Fire in the tropical biota-ecosystem processes and global challenges. *Ecological studies*, 84, 82-105.
- De Castro, V. H. L. et al. (2013) Acidobacteria from oligotrophic soil from the Cerrado can grow in a wide range of carbon source concentrations. *Canadian Journal of Microbiology*, 59(11), 746-753.
- Dias, B. F. de S. (1992) Cerrados: uma caracterização. 11–25 in *Alternativas de desenvolvimento dos cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis* (BF de S. Dias. Editor). Funatura, Brasília, DF, Brazil.
- Duarte, R. T. D et al. (2012) Brazilian research on extremophiles in the context of astrobiology. *International Journal of astrobiology*, 11(4), 325-333.
- Fairén, A. G. et al. (2010) Astrobiology through the ages of Mars: the study of terrestrial analogues to understand the habitability of Mars. *Astrobiology*, 10(8), 821-843.
- Genuário, D. B. et al. (2019) Cyanobacteria From Brazilian extreme environments: toward functional exploitation. In: *Microbial diversity in the genomic era*. Academic Press, 265-284.
- Gilichinsky, D. A. et al. (2007) Microbial populations in Antarctic permafrost: biodiversity, state, age, and implication for astrobiology. *Astrobiology*, 7(2), 275-311.
- Guest, J. M. C. (2007) *The Geology of Mars. Evidence from Earth-Based Analogs*. Cambridge Planetary Science Series. xiii+ 460 pp. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press. Price£ 75.00, US \$135.00 (hard covers). ISBN 9780 521 83292 6. Geological Magazine, 145(4), 599-599.
- Hamada, M. Y., & Rashid, L. K. S. (2019) The impact of modern technology in scientific research methodology. *Journal of historical and cultural studies*, 7(20), 114-132.
- Hartmann, W. K., & Neukum, G. (2010) Cratering chronology and the evolution of Mars. *Chronology and evolution of Mars*, 165-194
- IBGE: Brazilian Institute for Geography and Statistics: Brazilian biomes, available at: http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm (last access: 23 February 2021).
- Kayano, M. T., & Andreoli, R. V. (2009) Clima da região Nordeste do Brasil. *Tempo e clima no Brasil*, 1, 213-233.
- Klink, C. & Machado R. B. (2005) Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conserv Biol*, 19, 707-713.
- Krosnick, J. A. (1999) Survey research. *Annual review of psychology*, 50(1), 537-567.
- Liu, Q. et al. (2019) Microevolution and adaptive strategy of psychrophilic species *Flavobacterium bomense* sp. nov. isolated from glaciers. *Frontiers in microbiology*, 10, 1069.
- Lucchitta, B. K. (1981) Mars and Earth: Comparison of cold-climate features. *Icarus*, 45(2), 264-303.
- Mataveli, G. A. V. et al. (2018) Satellite observations for describing fire patterns and climate-related fire drivers in the Brazilian savannas. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(1), 125-144.
- Mesbah, N. M., & Wiegel, J. (2005) Halophilic thermophiles: a novel group of extremophiles. *Microbial Diversity: Current Perspective and Potential Applications*, 91-11.

- De Araújo, F. M., Ferreira, L. G., & Arantes, A. E. (2012) Distribution patterns of burned areas in the Brazilian biomes: An analysis based on satellite data for the 2002–2010 period. *Remote Sensing*, 4(7), 1929-1946.
- Myers, N. et al. (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858.
- Petrescu, R. V., et al. (2018) There is Life on Mars? *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(1), 78-91.
- Pivello, V. R. (2011) The use of fire in the Cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. *Fire Ecol* 7: 24–3.
- Preston, L. J., Dartnell, & Lewis R. (2014) Planetary habitability: lessons learned from terrestrial analogues. *International Journal of Astrobiology*, 13(1), 81-98.
- Ramírez, N., Serrano, J. A., & Sandoval, H. (2006) croorganismos extremófilos. Actinomicetos halófilos en México. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(3), 56-71.
- Rezende, A. M. de F. A. (2010) Bactérias Extremófilas Facultativas: efeito na promoção de crescimento de plantas de tomate e na supressão de *Ralstonia solanacearum*.
- Rekadwad, B., & Khobragade, C. (2017) Marine polyextremophiles and their biotechnological applications. In: *Microbial Applications* 1. 319-331.
- Rizzo, V., et al. (2021) *Life on Mars: Clues, Evidence or Proof?* In: *Solar System Planets and Exoplanets*. IntechOpen.
- Schmidt, W. C. (1997) World-Wide Web survey research: Benefits, potential problems, and solutions. *Behavior research methods, instruments, & computers*, 29(2), 274-279.
- Schmidt, S. K. et al. (2018) Life at extreme elevations on Atacama volcanoes: the closest thing to Mars on Earth?. *Antonie van Leeuwenhoek*, 111(8), 1389-1401.
- Silva, T., et al. (2020) Prospecção de antibióticos e pigmentos a partir de bactérias isoladas da Antártica: Microbial prospecting for antibiotics and pigments from bacteria isolated from Antarctica. 2020. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Instituto de Biologia.
- Souto, P. C., et al. (2008) Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob caatinga no semi-árido da Paraíba. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 151-160.
- Trabaquini, K., et al. (2013) Dynamics and distribution of anthropic occupation in the cerrado of Mato Grosso in the period from 1990 to 2008. *Geografia*, 38(2), 209-224.
- Yoshizaki, T., & Mcdonough, W. F. (2020) The composition of Mars. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 273, 137-162.